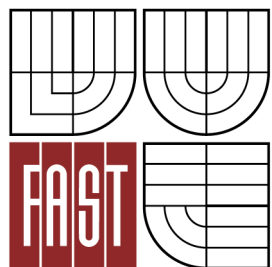




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MOBILNÍ MAPOVÁNÍ V ARCHITEKTUŘE

USING OF MOBILE MAPPING IN ARCHITECTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ DEUTSCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2013



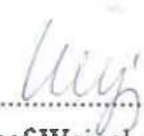
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

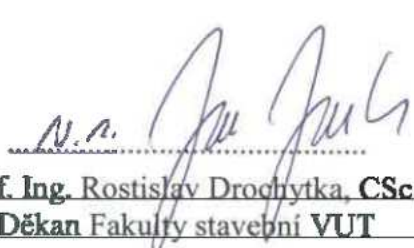
Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Deutsch Jiří
Název	Mobilní mapování v architektuře
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012


.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Nováčková, S.: Testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS, diplomová práce, VUT v Brně, 2012

PETRIE, Gordon. Mobile Mapping Systems : An Introduction to the Technology. In GEOinformatics [online]. January/February 2010, 13, 1, [cit. 2011-04-26].

http://web2.ges.gla.ac.uk/~gpetrie/Petrie_Mobile_Mapping_Systems_Jan-Feb_2010.pdf

SUKUP, J., SUKUP, K. Mobile Mapping. In GIM International [on-line]. 2010 [cit. 2011-03-23] Volume 24, ISSUE 06, s. 17-21, ISSN: 1566-9076. Dostupný z WWW: http://www.gim-international.com/issues/articles/id1546-Mobile_Mapping.html

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Seznamte se s mobilním mapovacím systémem na pracovišti firmy Geodis Brno, spol. s r.o. Zabývejte se analýzou výstupních dat s ohledem na využití systému v architektuře. Vytvořte 3D dokumentaci vybraného objektu.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Bibliografická citace VŠKP

DEUTSCH, Jiří. *Mobilní mapování v architektuře*. Brno, 2013. 56 s., 15s. příl., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o aplikaci a využití mobilního mapování v oboru architektury. Po seznámení se s mobilním mapovacím systémem MOMAS, který byl vyvinut společností Geodis Brno, spol. s.r.o., byly touto metodou zaměřeny určité lokality města Brna. Z tohoto souboru byla vybrána fasáda Domu Milady Horákové, která byla následně zpracována, a došlo k vytvoření její 3D dokumentace. Součástí je i kontrolní zaměření fasády bezhranolovou metodou a posouzení přesnosti.

Klíčová slova

Mobilní mapování, architektura, mobilní mapovací systém MOMAS, PanoramaGIS®, 3D model

Abstract

This diploma thesis describes the application and using of mobile mapping in architecture. After getting to know the mobile mapping system MOMAS, which was developed by Geodis Brno, spol. s.r.o., in this way some localities in Brno were measured. From that measuring was chosen the facade of Dům Milady Horákové, and by post-processing was the facade compiled and created into 3D model. In addition the control measuring was done by non-prism method, following the assessment of accuracy.

Keywords

Mobile mapping, architecture, mobile mapping systém MOMAS, PanoramaGIS®, 3D model

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. května 2013

.....

podpis autora

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval panu doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při vypracování mé diplomové práce. Dále bych také rád poděkoval firmě Geodis Brno spol. s r.o. za pomoc při sběru dat, zapůjčení softwaru a odborné konzultace.

V Brně dne 24. května 2013

OBSAH

1.	ÚVOD	7
2.	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1.	TEORIE	8
2.2.	POPIS SYSTÉMU	13
2.2.1.	GNSS přijímač	14
2.2.2.	Inerciální měřicí jednotka	16
2.2.3.	Odometr	16
2.2.4.	Digitální kamera	17
2.2.5.	Laserový skener	18
3.	SYSTÉM MOMAS	19
3.1.	POPIS SYSTÉMU	19
3.1.1.	Zařízení pro výpočet trajektorie	20
3.1.2.	Zařízení pro mapování	22
4.	SBĚR DAT	24
4.1.	ZPRACOVÁNÍ DAT	27
4.1.1.	PanoramaGIS®	30
4.1.2.	Měření bodů na základě panoramatických snímků	32
4.1.3.	Měření bodů na základě laserových dat	33
4.1.4.	Návrhy pro software PanoramaGIS® s hlediska architektury	34
5.	VYUŽITÍ SYSTÉMU V OBORU ARCHITEKTURY	38
5.1.	TVORBA MĚST	38
5.1.1.	Jednoduchý model pro rychlou vizualizaci	40
5.1.2.	Komplexní model	40
5.1.3.	3D architektonická dokumentace	41
5.2.	Pasport historických a cenných objektů	42
5.3.	Před/projektová dokumentace	43
6.	POSOUZENÍ PŘESNOSTI	45
6.1.	POPIS GEODETICKÉHO ZAMĚŘENÍ	45
6.2.	POSOUZENÍ PŘESNOSTI CHARAKTERISTICKÝCH BODŮ	46
7.	3D DOKUMENTACE	49
8.	ZÁVĚR	52
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56
11.	SEZNAM PŘÍLOH	56

1. ÚVOD

V posledních několika letech u nás stále častěji slycháváme o mobilním mapování. Je to možná z důvodu rychlého vývoje automatizovaného sběru dat a jejich vyhodnocení, na základě čím dál tím větších nároků na rychlost, přesnost a efektivitu, nejen po stránce ekonomické, ale také po stránce využitelné. Tyto nové metody nachází své uplatnění v mnoha oborech, a stále se objevují nové, ve kterých tyto systémy mobilního mapování jsou užitečné.

Pod pojmem mobilní mapování se rozumí unikátní technologie umožňující rychlý a především také efektivní sběr geoinformačních dat a to zejména v zastavěných částech území, kde dochází k rychlým změnám infrastruktury budov, silnic atd., a které není možné dostatečně efektivně zachytit tradičními metodami mapování. Základem jsou mobilní mapovací systémy sloužící pro samotný sběr dat v terénu, které se umísťují především na auta, ale i na čtyřkolky, lodě, vlaky, vrtulníky a jiné, dokonce i bezpilotní létající prostředky. V závislosti na zvoleném prostředku tak lze mapovat komunikace s přilehlým okolím, břehy řek, či železniční koridory. Nedílnou součástí této technologie jsou aplikace sloužící ke zpracování pořízených dat a aplikace pro následné vyhodnocení zájmových informací z nich. [2]

Tato diplomová práce pojednává o aplikaci a využití zmíněné metody mobilního mapování na poli architektury, za pomoci vyvinutého mobilního mapovacího systému MOMAS firmy Geodis Brno, spol. s.r.o. Kde po příkladu provedení sběru dat se zabývá analýzou výstupu a jeho využití. V tomto případě dále vytvoření 3D dokumentace vybraného objektu právě na základě nasbíraných dat touto metodou.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. TEORIE

Když se podíváme do historie mobilních mapovacích systému (MMS), tak první funkční pozemní systém byl nazvaný „GPSVan“ (Obr. 2.1.1.). Byl vyvinut Centrem pro mapování na Ohio State University v roce 1980. A jeho částmi byly kódový GPS přijímač, dvě digitální CCD kamery, dvě barevné videokamery a několik snímačů náklonu. Videokamery měly pouze dokumentační účel, měření na jejich záznamu nebylo prováděno. S tímto systémem bylo dosahováno relativní prostorové přesnosti objektů asi 10 cm, avšak absolutní prostorová přesnost objektů se odvíjela od použitého kódového GPS přijímače a dosahovala tedy 1 až 3 m.



Obr. 2.1.1. Třetí generace GPSVan [4]

Cílem dalšího výzkumu v této oblasti bylo tedy eliminovat největší zdroje nepřesností, díky vývoji přesnějšího hardwaru, či volbou jiné metody zpracování. A dále také zjednodušit automatizaci při zpracování obrazu, kde byla snaha o osazení více senzorů pro flexibilnější sběr dat, a optimální konfiguraci.[3]

V současnosti technologický vývoj v oblasti pořizování a zpracování záznamů GNSS přijímačů v kombinaci s využitím záznamů inerciálních měřících jednotek (IMU) značně pokročil a na trhu se postupně objevilo několik zařízení, které lze využít pro řešení různých technických úloh souvisejících s pořizováním dat pro potřeby mapování nebo GIS aplikací. Souhrnně se o těchto technologiích hovoří jako o metodách mobilního mapování.

Postupný technický vývoj *GNSS/INS* systémů (*Global Navigation Satellite System / Inercial Navigation System*), a především posun ve způsobu zpracování dat, která tato zařízení poskytují, vedl k tomu, že některé současné systémy na trhu dosahují zajímavých výsledků. A to, co se týče porovnání rychlosti sběru dat, detailu, se kterým dokumentují zájmové území, výsledné polohové přesnosti a nakonec i pořizovací ceny dat. Přední světoví výrobci těchto zařízení, jakými jsou například *Topcon*, *Trimble*, *Applanix*, či *Riegl*, se snaží především o zvýšení přesnosti svých systémů v situacích, kdy dochází ke ztrátě *GNSS* signálu. Díky integraci dvou navzájem se doplňujících navigačních technologií jsou mobilní mapovací systémy (*MMS*) schopné po výpadku rychle obnovit příjem signálu, a přejít opětovně k fixnímu řešení polohy, které zaručuje spolehlivost a žádanou přesnost. Od dosahované přesnosti je pak přímo odvozena využitelnost těchto systémů pro vybrané aplikace a obory lidské činnosti. [2]

V dnešní době rozdělujeme mobilní mapovací systémy do dvou obecných kategorií, a to v závislosti na určených aplikacích *MMS*, a na jejich rozdílných přesnostech, které má splnit.

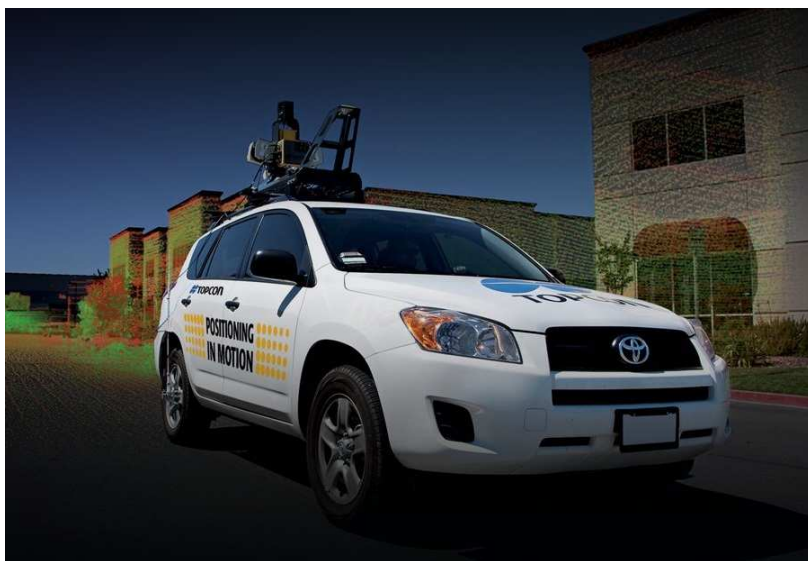
- 1) Systémy, které jsou použity pro zobrazení území pomocí digitálních snímků a pro další různorodé kartografické mapovací aplikace.
- 2) Systémy, které se používají pro shromažďování datových údajů o infrastruktuře (silniční, železniční, atd.). Údaje jsou potřeba pro udržovací a správní účely.

Tyto kategorie mají spoustu podkategorií, a každoročně se pracuje na vývoji pro další využití těchto systémů. Obecně požadavky na přesnost mapy a měřených dat se v jednotlivých případech liší. Zejména nároky na přesnost jsou u druhé kategorie mnohem větší. [1]

Pro každé specifické využití je také třeba určit dopravní prostředek, který zajistí “mobilitu” mapovacího systému. Nejobvykleji jsou mapovací systémy osazeny na automobilu (Obr. 2.1.2.), železničním dopravním prostředku (Obr. 2.1.4.), lodi (Obr. 2.1.3.), člunu, ale i na cyklistickém kole, tříkolce (Obr. 2.1.5.), dokonce vrtulníku, popřípadě bezpilotního létajícího prostředku.

Mobilně mapovacích systémů, je převážně využito pro:

- Aplikace na komunikacích
 - Mapování prostoru komunikací (kanalizace, lampy, sloupy,...)
 - Správa inženýrských sítí a infrastruktury
 - Pasport dopravního značení, zeleně,...
 - Data pro IZS
 - Územní plánování
 - Prostorové analýzy
 - Sledování změn v čase
 - Technické mapy
 - Kubatury
 - DTM – odtokové poměry
 - **Podklady pro projektanty**
 - **Dokumentace fasád, 3D modelování a vizualizace** – kterou se v dalších kapitolách této diplomové práce zabírám a rozvíjím



Obr. 2.1.2. Mobilní mapovací systém umístěný na automobilu. [7]

- Aplikace na řekách
 - Mapování břehů
 - Pasport dopravního značení
 - Inspekce zeleně



Obr. 2.1.3. Mobilní mapovací systém umístěný na lodi. [8]

- Aplikace na železnici
 - Inspekce trati
 - Měření průjezdných profilů
 - Správa zařízení (výhybky, semaforey, dopravní značky)
 - Prostorové analýzy



Obr. 2.1.4. Mobilní mapovací systém umístěný na drážní soupravě [9]

- Aplikace při specifických požadavcích
Podobné možnosti jako u komunikací.
 - Inspekce zúžených tratí
 - Měření průjezdných profilů
 - Passport cyklistyckých stezek
 - Generování DMT
 - a další..



Obr. 2.1.5. Mobilní mapovací systém umístěný na tříkolce. [10]

2.2. POPIS SYSTÉMU

V oboru mobilních mapovacích systémů se již pohybují až desítky firem, z nichž se každá k tvorbě systému postavila vlastním způsobem. Každý komponent systému je schopen plnit různá individuální kritéria, která jsou odrazem konkrétních potřeb zákazníka a jeho projektů.

I když se mobilní mapovací systémy mohou lišit dle výrobce, některé prvky mají společné. Postupný vývoj systémů přinesl určitou snahu o unifikaci řešení. Na obrázku Obr.2.2.1. vidíme základní komponenty MMS.

Mobilní mapovací systém se skládá z:

- **GNSS přijímač** – slouží pro určení polohy MMS v prostoru a zajišťuje přesnou synchronizaci s GPS časem
- **inerciální měřicí jednotky** – určuje orientaci díky využití dat ze tří gyroskopů a tří akcelerometrů umístěných v osách vzájemně na sebe kolmých
- **odometru** – měří rychlost a ujetou vzdálenost s vysokou přesností
- **záznamového zařízení:**
 - **digitální kamery** – pořizují snímky o vysokém rozlišení, které realisticky dokumentují zájmové území
 - **laserové skenery** – mapují zájmové území pomocí mračka laserových bodů vytvářející 3D model
- **řídící jednotky**



Obr. 2.2.1. Schéma osazení komponentů MMS. [11]

Celý systém je ovládán řídicí jednotkou, na kterou jsou všechna zařízení připojena, a z které jsou řízena. Usnadňuje život pro provozovatele při sběru dat. Je to obvykle průmyslový počítač nebo notebook uzpůsobený pro sběr dat. Nároky jsou kladeny především na kapacitu a rychlost harddisků, výkon procesorů a grafických karet. Neméně důležitá jsou i komunikační rozhraní, přes která dochází ke komunikaci a přenosu dat mezi počítačem a mobilním mapovacím systémem. [2]

2.2.1. GNSS přijímač

Pro určení trajektorie je přijímač globálního navigačního satelitního systému primárním zařízením, které je v mobilních mapovacích systémech používáno na získání absolutní polohy jedoucího vozidla a jeho skenovacích a zobrazovacích zařízení. Pro získání kvalitních prostorových dat se s oblibou používají přijímače od známých výrobců, jako je Topcon, Trimble, Leica, Novatel, atd.

Struktura globálního navigačního systému se skládá ze tří složek:

- Řídicí
- Kosmická
- Uživatelská

Řídicí složka koordinuje funkci celého systému, monitoruje jeho činnost, provádí manévry satelitů (korekce polohy ve dráze), a především udržuje systémový čas. Kosmická složka obsahuje aktivní umělé družice na oběžné dráze kolem Země, jejich poloha je kontinuálně určována v jednotné celosvětové geocentrické souřadnicové soustavě. Tyto družice vysílají signály, nesoucí informace potřebné k určování polohy. Uživatelská složka zahrnuje pozemní přijímače, schopné přijímat a zpracovávat družicové GNSS signály.

Dle Obr. 2.2.2. je GNSS přijímač tvořen anténou, dále radiofrekvenční jednotkou a mikroprocesorem, doplněn pamětí, komunikační jednotkou, zdrojem napětí. Radiofrekvenční jednotka zpracovává signály přijaté na jedné, nebo dvou frekvencích, zatímco mikroprocesor řídí proces přijímání signálů, počítá parametry přesnosti (χ -DOP) a okamžiky východů a



Obr. 2.2.2. GNSS přijímač MMS. [12]

západů všech družic. Pro anténu je důležité, aby přijímala signál ze všech viditelných směrů, ale zároveň nedocházelo k tzv. multipath efektu (přijímání signálu odraženého od blízkých ploch). K tomu slouží polarizování signálu, kde přímý signál z družice je polarizován pravotočivě, a odražený signál levotočivě. Přijímač lze nakonfigurovat na jednu, nebo obě nosné frekvence. Při příjmu na obou frekvencích je možno eliminovat systematické vlivy ionosféry.

Vysílání, šíření a příjem signálu GNSS mezi družicí a přijímačem podléhá působení řady systematických faktorů, které lze rozdělit na:

- umělé ovlivňování kvality signálu (SA, AS – degradace dráhových údajů utajenými algoritmy)
- chyby související s družicemi (hardware, dráhy, hodiny)
- chyby při šíření signálu atmosférou (vliv ionosféry, troposféry)
- chyby související s přijímačem (hodiny, ofsety a variace fázových center antén)
- chyby související s místem měření a postavením antény (multipath, centrace a odměření výšky antény)

Pro vlastní určení polohy je použita kinematická metoda, která se používá pro určování dráhy pohybujícího se tělesa, na kterém je umístěn přijímač. Druhým přijímačem je pevná referenční stanice, umístěna na bodě o známých souřadnicích.

Rozeznáváme dva módy měření kinematické metody.

- se statickou inicializací – přijímač vykoná na počátečním bodě statickou inicializaci, kdy jsou určeny výchozí souřadnice a počáteční ambiguity
- s inicializací za pohybu – ambiguity jsou řešeny za pohybu

U kinematické metody se dosažení přesnosti pohybuje v řádech jednotek centimetrů. [6]

Mobilní mapovací systémy jsou velmi často používány v hustě zastavěných oblastech s mnoha výškovými budovami, nebo v místech hustého porostu a vysokých stromů. Tyto skutečnosti způsobují výpadky, či úplné ztrátu příjmu GNSS signálu. V těchto případech se standardně používá inerciální měřicí jednotka (IMU) a odometr, právě pro doplnění chybějících polohových informací.

2.2.2. Inerciální měřicí jednotka

Tato jednotka se skládá ze tří akcelerometrů, a tří gyroskopů. Akcelerometry měří zrychlení ve třech na sebe kolmých směrech, a gyroskopy určují tři úhlové rychlosti. Pokud integrujeme naměřené zrychlení, dostáváme rychlost pohybu. Při dvojnásobné integraci vypočteme polohu. Při měření pomocí IMU (Obr. 2.2.3.) dostáváme nepřetržitá data o pohybu objektu, aneb neustálé měření vektoru okamžitého zrychlení. Ten je ovšem měřen v souřadnicovém systému měřicího zařízení, a pro určení polohy v soustavě, kterou požadujeme, musí být vektor



Obr. 2.2.3. IMU. [13]

netransformován. Údaje pro transformaci (úhly pootočení) získáme pomocí gyroskopů. Výslednou polohu objektu tedy definujeme pomocí polohového vektoru těžiště a orientace.

Inerciální měřicí jednotka má vysokou relativní přesnost, ale absolutní přesnost klesá s časem. Naopak GNSS má dlouhodobou stabilitu, proto je tedy vhodné kombinovat tyto systémy společně. Data IMU se použijí pro vyhlazení šumu v GNSS měření, na druhou stranu GNSS data kompenzují systematické chyby IMU, závislé v čase. [5]

2.2.3. Odometr



Odometr je doplňkovým zařízením a používá se pro zpřesnění údajů (vzdálenost, rychlost) o ujeté dráze. Z měření počtu otáček kol a známého obvodu kola jsme schopni určit přesně ujetou vzdálenost, a tím zlepšit přesnost GNSS systému, který při nedostatku signálů z družic při stínění vysokých objektů může být nepřesný.

V minulosti se na vozidla osazovaly mechanické odometry, později kombinované, a nyní, až na výjimky, se používají odometry

Obr. 2.2.4. Odometr. [14] digitální (2.2.4.).

2.2.4. Digitální kamera

Digitální kamery slouží k obrazové dokumentaci zájmového území. Počet a rozmístění digitálních kamer závisí především na typu aplikace, pro kterou jsou data sbírána a na způsobu, jakým budou informace ze snímku získávány. Pro některé aplikace je vhodné umisťovat



Obr. 2.2.5. Digitální kamera. [15]

kamery tak, aby snímky z nich společně tvořily stereo-
skopické páry a umožňovaly tak stereo měření. Naopak v jiných situacích míří kamery každá na jinou stranu např. do kříže tak, aby bylo dosaženo co největšího pokrytí přilehlého okolí dráhy pohybu systému a byly minimalizovány zakryté prostory. Mezi parametry, jež je potřeba sledovat u digitálních kamer používaných pro mobilní mapování, patří v první řadě rozlišení čipů. V pozemních aplikacích se rozlišení pohybuje většinou do 5 až 10 Mpix, zatímco u leteckých aplikací je nutné použít kamery o rozlišení v řádu desítek Mpix. Je to především z toho důvodu, že vzdálenost dokumentovaného předmětu od MMS je při leteckých aplikacích mnohonásobně větší, než je tomu v případě pozemních aplikací.

S tím souvisí i volba vhodného objektivu, kde je potřeba sledovat především jeho ohniskovou vzdálenost, která nám společně s rozlišením čipu definuje rozlišení detailu zachyceného objektivem. Dalším parametrem objektivů je i FOV (Field of View), které nám definuje šířku záběru. A jedním z posledních důležitých parametrů je počet snímků, který je kamera schopná pořídit za vteřinu, tzv. frame rate. [2]

Velmi často se nyní používají v mobilním mapování integrované více kamerové jednotky. Jedná se o více kamer (šest, devět, dvanáct) seskupených do speciálních zařízení. Například MMS MOMAS používá kameru sférickou.



(Obr. 2.2.6.). Jedná se o šest kamer, kdy pět jich je uspořádáno soustředně ve vodorovném kruhu směřujícím ven pro účely výroby 360 ° panoramatického snímku v horizontální rovině a šestá kamera směřuje svisle vzhůru. Tyto kamery je možné dodat připojené ke stožáru, který je namontován na střešní nosič, a je umístěn v horní části mapovacích vozidel s cílem

Obr. 2.2.6. Sférická kamera. [15]

poskytnout jasný přehled o okolních objektech.

2.2.5. Laserový skener

V současné době umožňují laserové skenery sběr dat až pro milióny bodů. Během vývoje byly používány 3D laserové skenery, které uměly naskenovat okolí vozidla a také pořídit digitální snímky, ale vše ve statickém režimu, až po zastavení automobilu. 3D laserové skenery se používaly v minulosti, ale nyní se převážně využívá systémů složených z více 2D skenerů, např. jako laserový skener VQ-250 od firmy Riegl na obrázku Obr. 2.2.7., který dokáže naskenovat povrch v dynamickém režimu, za pohybu systému po požadované trajektorii. Třetí rozměr je získáván změnou polohy systému skenerů v čase. Skenování se provádí kolmo ke směru jízdy. Během skenování se současně získávají požadované vzdálenosti a úhly, a to v řadě po sobě jdoucích rovnoběžných rovinách. Poloha jednotlivých nových řad profilů se měří nepřetržitě (a velmi přesně) pomocí integrované sady zařízení pro určování polohy, složené z GNSS přijímače, inerciální měřící jednotky a odometru.

Konfigurace umístění skenerů na vozidle je variabilní vzhledem k počtu a typu skenerů, a na požadovaném výstupu skenovaných dat. Skenery se rozlišují především svým efektivním dosahem, který je v případě levnějších typů několik desítek metrů. Cenově náročnější typy dovolují skenovat i do vzdálenosti 200-300 metrů. Kromě dosahu skenerů je potřeba sledovat i skenovací frekvenci, zorné pole, atd. [1] [2]



Obr. 2.2.7. Laserový skener Riegl VQ-250. [15]

3. SYSTÉM MOMAS

Systém MOMAS byl vyvinut pro potřeby mobilního mapování firmy Geodis Brno spol. s.r.o. V této firmě nebyl tento systém mobilního mapování prvním. Tuto pozici měl systém IP-S2 od výrobce Topcon, pro které je Geodis Brno spol. s.r.o. výhradním dodavatelem v České Republice. Nastřádané zkušenosti se systémem IP-S2 odborníci zúročili při konfiguraci nové platformy mobilního mapovacího systému na osobním automobilu, který má kompletní skenovací základ od rakouské firmy Riegl – Laser Measurement Systems, a je doplněn sférickou digitální kamerou LadyBug. Tento systém a jeho schéma zapojení vidíme na Obr. 3.0.1., 3.1.7., a je využíván od roku 2011, firmy Geodis Brno dostal název v podobě zkratky Mobilního Mapovacího Systému, tedy MOMAS.



Obr. 3.0.1. Mobilní mapovací systém MOMAS [16]

3.1. POPIS SYSTÉMU

Hlavním cílem systému MOMAS je získávání geoinformačních dat, založených na georeferencovaných panoramatických snímků sférické kamery. Tato metoda získávání dat pro GIS je velmi rychlá a tedy i ekonomická, pokud nebereme v potaz pořizovací investice. Z nasbíraných dat a snímků pořízených během jízdy lze vypočítat prostorové umístění zaměřených objektů, a po následném zpracování se naskýtá široké využití. Díky vysoké frekvenci snímání lze z pořízených snímků vytvořit i panoramatické video se záběrem 360°.

Mobilní mapovací systém MOMAS se hardwarově skládá ze dvou hlavních částí:

- zařízení sloužící pro výpočet trajektorie
- zařízení pro mapování

3.1.1. Zařízení pro výpočet trajektorie

- **řídící jednotka**

Úkol této jednotky je v synchronizaci celkového zařízení a jeho řízení během celého sběru dat. Jednotka je ovládána pomocí dotykové obrazovky, osazené na palubní desce vozidla, společně s klávesnicí. Samotná jednotka (Obr. 3.1.1.) je umístěna v úložném prostoru, a obsahuje ovládací panel s displejem pro kontrolu zdroje napájení a teploty. V průběhu je napájena vozidlem a pro případ zhasnutí motoru je připravena druhá záložní autobaterie. Hlavní součástí řídící jednotky je 5 pevných disků pro ukládání dat. Dále má zde systém pojistky, rozhraní pro propojení všech součástí, a rozhraní pro export dat.



Obr. 3.1.1 Řídící jednotka systému MOMAS [16]

- **GNSS přijímač**

Určuje absolutní polohu v prostoru mobilního mapovacího systému. Jedná se o dvoufrekvenční GNSS od výrobce Trimble, využívající globální navigační systémy GPS i Glonass. S pevně umístěnou anténou přijímače, a tedy známou polohu fázového centra vzhledem k systému.

- **IMU – Inerciální měřicí jednotka**

Při výpadku GNSS signálu zastává funkci měření orientace v prostoru, kdy společně s odometrem upřesňují polohové informace MMS. I tato jednotka má svůj střed, k němuž je potřeba znát polohu od systému.



Obr. 3.1.2. Set GNSS přijímače, IMU a laserových skenerů systému MOMAS [16]

Pro co nejpřesnější výpočet trajektorie celého mobilního mapovacího systému je velmi důležité znát vzájemné polohové vztahy jednotlivých zařízení, které můžeme vidět na obrázku (Obr. 3.1.2.) společně ještě s digitální a sférickou kamerou. Jedná se o fázové centrum antény přijímače GNSS, střed inerciální měřicí jednotky, projekční centra kamer, a vzažné body, či středy, skenerů. Přesnost těchto polohových vztahů ovlivňuje určení výsledné trajektorie.

- **Odometr**

Toto zařízení je umístěno na zadním levém kole automobilu, a během celého měření MMS zaznamenává počet otáček kola, čímž vyhodnocuje rychlost a ujetou vzdálenost vozidla. Při následném zpracování se tyto údaje synchronizují s udávanou vzdáleností GNSS systému, a celá trajektorie se upřesní. Odometr (Obr. 3.1.3.) vysílá 4096 impulzů na jednu periodu kola, a zároveň zaznamenává zastavení vozidla.



Obr. 3.1.3. Odometr [16]

3.1.2. Zařízení pro mapování

- **Laserový skener 2x**

Skenovací systém VMX-250 od firmy Riegl (Obr. 3.1.4.) je umístěn na střešním nosiči společně s IMU a GNSS přijímačem v jednom bloku. Je složen ze dvou 2D skenerových jednotek VQ-250, které díky otočným hlavicím zajišťují celokruhové (360°) zorné pole. Při udávané skenovací frekvenci je možné získat až 600 000 bodů/s. U tohoto procesu se také využívá tzv. mutli echa, neboli vícecestného šíření paprsku, kdy se paprsek o určité velikosti částečně odrazí a částečně pokračuje dál. Takovým procesem jsme schopni zaznamenat až 5 odrazů jednoho paprsku.

skenovací frekvence	300 kHz
dosah / odrazivost	200-300 m / 80%
rychlost skenování	100 otáček/s
přesnost	+/- 10mm



Obr. 3.1.4. Skenovací systém MOMAS na střešním nosiči.[16]

- **Digitální kamera 2x**

Ačkoliv je možné na skenovací nosič osadit až 6 digitálních kamer, systém MOMAS využívá pouze dvě. Jedna kamera směřuje dopředu, druhá dozadu (lze vidět na Obr. 3.1.4., 3.1.5.), a plně tak postačují pro potřeby firmy Geodis Brno.

rozlišení kamery	5 Mpx
ohnisko objektivu	5 mm
rychlost snímání	15 snímků / s



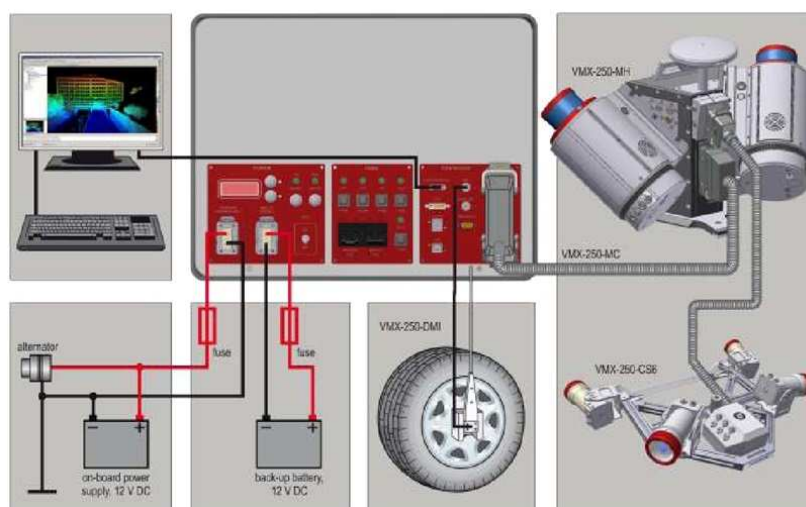
Obr. 3.1.5. Digitální kamera MOMASu.[16]

- **Sférická kamera**

Tato sférická digitální kamera LadyBug 3 (Obr. 3.1.6.), firmy Point Gray Research, má integrovaný systém pěti snímacích čoček rozmístěných na stěnách pravidelného pětihranu, s kruhovou (360°) schopností snímání. A šestá čočka doplňuje panoramatické zobrazení o snímky směřující vzhůru. Každá čočka má rozlišení o 2 Mpx, a všechny pořizují snímky současně podle nastavení snímání. Standardně jsou snímky pořizovány po ujetých 2,5m, maximálně lze však uložit 15 snímků/sekundu.



Obr. 3.1.6. Sférická kamera.[16]



Obr. 3.1.7. Schéma zapojení mobilního mapovacího systému MOMAS.[15]

4. SBĚR DAT

Před samotným sběrem dat je důležité si cestu rozplánovat dle lokalit, které je třeba zaměřit. Cílem této diplomové práce je poukázat a podrobněji se zabývat využitím mobilního mapovacího systému v oboru architektury.

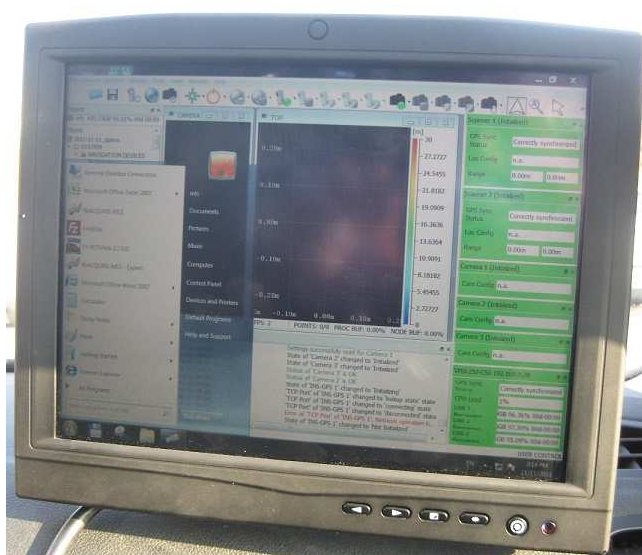
Při plánování trasy pro zaměření jsem vybral několik případů z městské zástavby Brna, na kterých by, dle mých úvah, mohl být efektivně využit mobilní mapovací systém. Jedná se o ulici městských domů s historickými fasádami (ul. Čápkova, Jiráskova), uliční čáru se zastavěnou prolukou (ul. Milady Horákové), okolí Björnsenova sadu, kostel Sv. Jakuba, dům Tivolli, nově zrekonstruovaná kavárna Era, a další, jak lze vidět na obrázku zájmových lokalit (Obr 4.0.1.).



Obr. 4.0.1. Náhled trasy při sběru dat zájmových lokalit – město Brno. [16]

Samotný sběr dat probíhal dne 11. 11. 2011 mezi 15. až 17. hodinou, kdy jsme jako výchozí i cílovou stanici zvolili parkoviště supermarketu Kaufland v Brno – Židenice. Po osazení odometru, sundání krytů laserových jednotek a kontrole zapojení všech zařízení, bylo, za chodu motoru vozidla, možné spustit řídicí jednotku MOMASu s počítačem. Systém byl ovládán pomocí dotykové obrazovky z místa spolujezdce.

Všechna zařízení, kromě sférické digitální kamery, která je ovládána samostatným laptopem, lze přehledně nastavit a ovládat pomocí rakouského softwaru pro sběr dat Ri-Acquire. Na jeho rozhraní (Obr. 4.0.2.) najdeme okno živého náhledu snímaných dat, okno INS-GPS, skenerů, kamer, úložiště kamerového systému, a okno průběžných zpráv systému.



Obr. 4.0.2. Ovládací dotyková obrazovka systému. [16]

Před začátkem sběru dat se provede inicializace (nastartování) celého systému. Po nastavení rotačních skenerů (Momas 300kHz) došlo k jejich spuštění, společně se sférickou digitální kamerou, které byly použity pro sběr dat. Sférická kamera byla ovládána softwarem LadybugCap z vlastního laptopu. Její snímání bylo nastaveno po 2,5m ujeté vzdálenosti, jelikož časová sekvence snímků by byla v městské dopravě velmi nevyvážená. Klasických digitálních kamer systému Momas v našem případě sběru dat nebylo třeba.

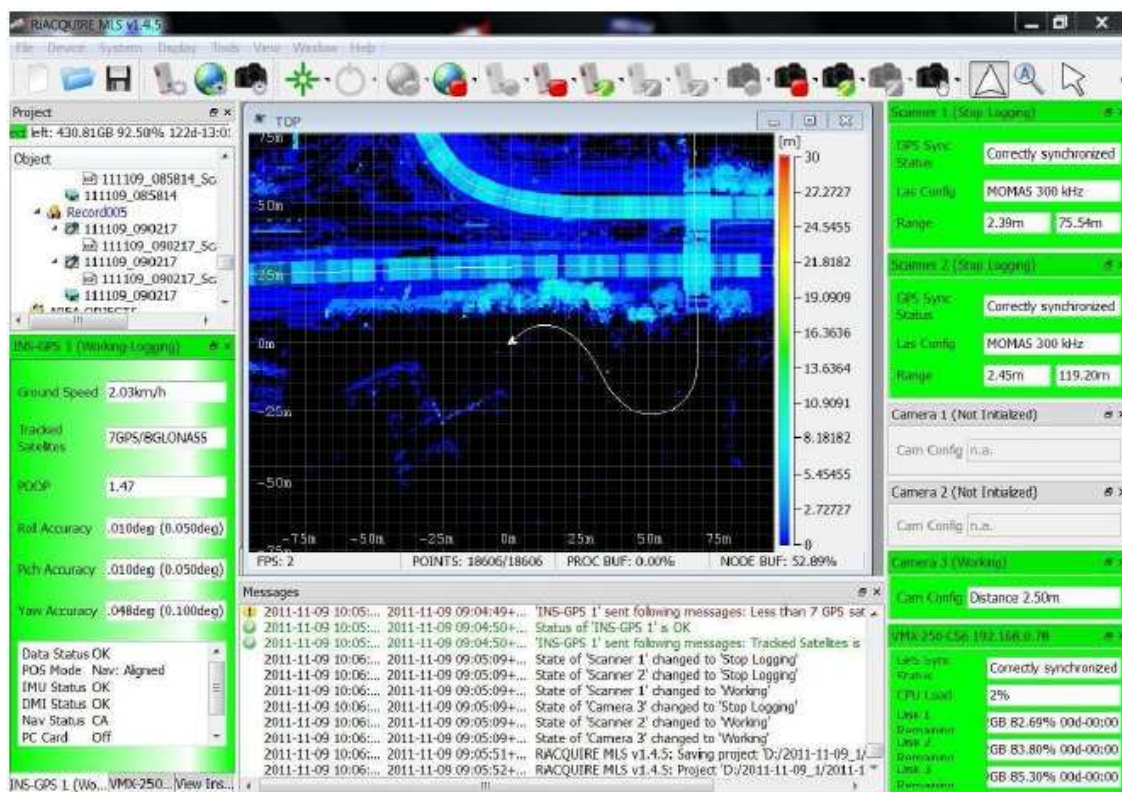
Dále byl nastaven a spuštěn inerciální navigační systém s GNSS, který potřebuje signál minimálně z 5ti družic. Po provedení statického urovnání a určení počáteční polohy, kdy musí automobil zůstat v klidu alespoň po dobu 5 min, se dokončí odpočet a dostaneme údaje o přesnosti polohy (Obr. 4.0.3.). Pro dynamické urovnání INS-GPS je nutné vozidlo uvést do pohybu a dynamicky zrychlovat, zpomalovat, a měnit směr kroužením nebo jízdou ve tvaru číslice osm. Při urovnání se v reálném čase zlepšují přesnosti náklonů „roll, pitch, yaw“. Toto dynamické urovnání je potřeba provádět dokud parametry určení polohy nejsou v limitu náklonu 0,05 deg („roll, pitch“) nebo 0,10 deg („yaw“).



Obr. 4.0.3. Údaje statického urovnání. [17]

Úvodní inicializace, nastavení a urovnání bylo záměrně provedeno na uvedeném parkovišti pro dobré pokrytí GNSS signálem, což nám zaručí kvalitní polohové řešení. Jelikož pokud by tento inicializační proces byl proveden špatně, mohlo by následné až několikahodinové měření být znehodnoceno. Proto je třeba této části věnovat zvýšenou pozornost. Na stejném místě se i končilo.

Po výjezdu na plánovanou trasu se vždy při potřebě sběru dat spustilo logování skenerů a sférické kamery přes ovládací panel (Obr. 4.0.4.), kdy došlo k uložení dat na pevné paměťové disky řídicí jednotky.



Obr. 4.0.4. Ilustrace softwaru RiAcquire při sběru dat. [17]

V průběhu měření došlo ke sběru dat v okolí Vojenské nemocnice Brno, ulici Milady Horákové, okolí chrámu Sv. Jakuba, ulici Čápkova a Jiráskova, okolí Björnsenova sadu, a zpět přes ulici Zemědělská a Černopolní opět na startovní parkoviště. Zde bylo na závěr opět provedeno dynamické urovnání, ukončení záznamu skenerů a sférické kamery, a zahájeno ukončení systému, kdy se vozidlo nesmělo pohnout. Po vyexportování trajektorie byl projekt uložen společně se všemi nasbíranými daty. Následně všechna zařízení MOMASu byla vypnuta a připravena pro přejezd do domácnosti firmy Geodis Brno spol. s.r.o. ke zpracování naměřených dat.

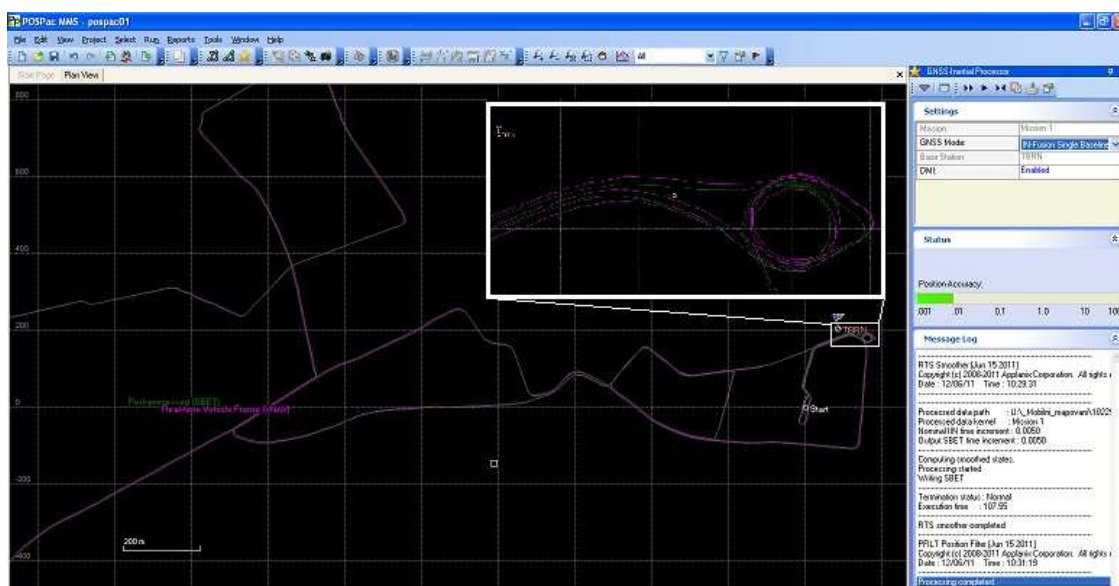
4.1. ZPRACOVÁNÍ DAT

Zpracování dat, neboli tzv. post-processing je velmi důležitou částí pro dosažení tíženého výsledku, či finálního výstupu pro další potřeby. Tento proces lze rozdělit do tří částí:

- Výpočet trajektorie pohybu MOMASu
- Zpracování snímků z panoramatické kamery
- Zpracování dat z laserových skenerů

První část je zásadní, jelikož jsou od ní dále odvozovány všechny následující výpočty orientací a poloh dalších senzorů. Při výpočtu trajektorie dochází ke vzájemnému propojení dat z GNSS přijímače, inerciální měřící jednotky a odometru. Tato trojkombinace zajišťuje určení trajektorie i v případě ztráty GNSS signálu.

Předběžně lze trajektorii určit přímo z naměřených dat, kdy přesnost odpovídá přesnosti dat GNSS bez využití referenční stanice a korekcí. Nicméně pro mobilní mapování je třeba co nejpřesnější určení trajektorie, a tady se využívá metody Kalmanovy filtrace, aneb sekvenční metody nejmenších čtverců. Tento výpočet byl proveden v softwaru POSPac. A pro naše potřeby byla vybrána referenční stanice TBRN sítě TopNET. Na obrázku (Obr. 4.4.1.) lze vidět rozdílnost trajektorie určené v reálném čase během měření (znázorněno fialovou linií), a trajektorii získanou post-processingem (znázorněno zelenou linií).



Obr. 4.1.1. Výpočet trajektorie v softwaru POSPac. [16]

Další částí je zpracování digitálních snímků ze sférické (panoramatické) kamery, kdy se nejdříve provede příprava časů ke snímkům. A dojde k výpočtu prvků vnější orientace na základě vypočtené trajektorie a transformace projekčních center do souřadnicového systému S-JTSK. Takto upravené panoramatické snímky lze již exportovat do tvarů.

Pro zpracování dat z laserových skenerů je třeba z naměřených dat vygenerovat mračna bodů. Každý naměřený laserový bod nese potřebnou informaci o tranzitním čase vyslaných paprsků a intenzitě vráceného odrazu. Zmíněné generování bylo provedeno softwarem RiProcess. Pro následnou práci v jiných aplikacích je potřeba vypočtené souřadnice v systému ETRS89, pomocí programu LasConvert, transformovat do systémů S-JTSK, Bpv.

S takto vytvořenými a upravenými daty lze následně libovolně pracovat v aplikaci PanoramaGIS®, která je založena zejména na práci s panoramatickými snímky a laserovými mračny bodů. [18]

Dříve než se budeme zabývat možnostmi aplikace PanoramaGIS® považují za správné rozkrýt metodu Kalmanovy filtrace, která nám zpřesňuje trajektorii MOMASu a tím udává prostorovou polohu všech naměřených dat.

Kalmanova filtrace

Kalmanův filtr je rekurzivní algoritmus, který vyžaduje vstupní hodnoty, ze kterých je lineárně vypočtena predikovaná hodnota, a další hodnoty, které jsou získány během měření a průběžně zahrnovány do výpočtu. Tím dochází k úpravě lineárního modelu a zpřesnění predikované hodnoty na základě měřených hodnot. [19]

Diskrétní lineární systém je dán stavovou rovnicí

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k, \quad (1)$$

Kde: x – stavový vektor systému (udávající polohu a rychlost)

k – index času

A – dynamická matice určující vztah předchozího a aktuálního stavu systému

B – řídicí matice pro u_k

u – známý vnější vstup do systému

w – šum procesu

Vektor x nelze měřit přímo, proto měříme vektor y , který lze měřit přímo, a z něj pak pomocí vztahu (2) určíme odhad vektoru x .

$$y_k = Cx_k + v_k, \quad (2)$$

Kde: y – měřená hodnota

C – matice propojující stav systému s měřenou hodnotou

v – šum měření [20]

Oba šumy jsou klasifikovány jako tzv. bílé šumy. To znamená, že jejich velikost nekoresponduje změně času, velikost šumu v jenom okamžiku nevypovídá o jeho velikosti v jiném okamžiku.

Rovnice Kalmanova filtru zahrnují dva odhady - apriorní a aposteriorní. Apriorní odhad je odhad založený na znalosti stavového vektoru z teoretického modelu výpočtu a aposteriorní odhad je založený na výsledcích měření. Optimální odhad je nalezen za pomoci matice zesílení K , která určuje rozdíl mezi aktuálním a požadovaným měřením.

$$K = P_k C^T (C P_k C^T + R_k)^{-1}, \quad (3)$$

Kde: P_k – apriorní odhad kovariance

R_k – kovarianční matice šumu měření

Vlastní odhad stavu má pak tvar

$$\hat{x}_k = x'_k + K(y_k - Cx'_k) \quad (4)$$

a příslušnou kovarianci odhadu

$$P_k = (I - KC)P'_k, \quad (5)$$

Kde: x'_k – apriorní odhad stavu

P'_k – apriorní kovariance.

Zesílení K je podstatou Kalmanovy filtrace, udává váhy pro měření a tím i jeho vliv na výsledný odhad a kovariance. [21]

4.1.1. PanoramaGIS®

Pro vyhodnocení dat pořízených mobilním mapovacím systémem, jako je např. MOMAS, byl firmou Geodis Brno spol. s.r.o. vyvinut software PanoramaGIS®. Umožňuje práci s databázemi digitálních panoramatických snímků a mračen laserových bodů, ale i zpracovávat klasické snímky.

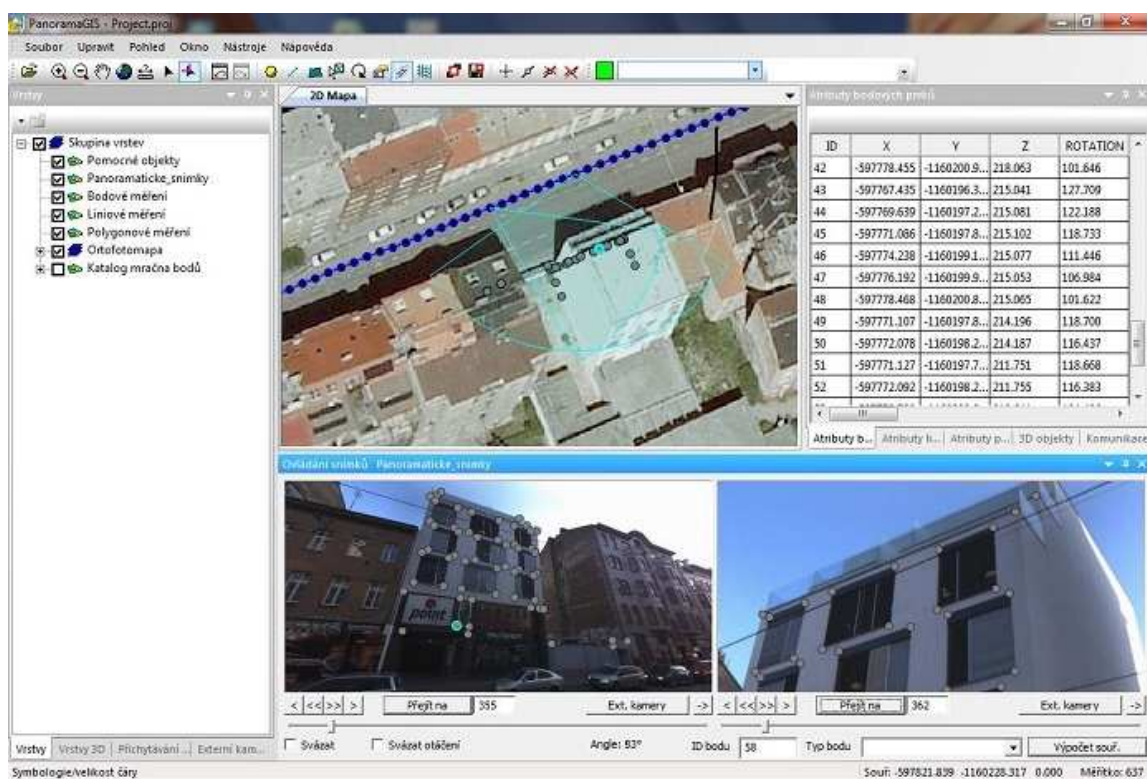


Základními vstupními daty jsou soubory formátu PAN, které obsahují databáze naplněné panoramatickými snímky se známými prvky vnitřní a vnější orientace. Vstupními daty také velmi často bývají mračna laserových bodů, pořízených skenery, ve formátu LAS. Velikou výhodou z hlediska oboru architektury je případ, kdy vstupní data mračen jsou obarveny na základě panoramatických snímků. Tyto data je možné ještě doplnit o snímky z externích kamer, které většinou mají vyšší rozlišovací schopnost, a jsou obrazově kvalitnější. Pro lepší orientaci v projektu slouží jako podklad především ortofotomapa, nebo různá vektorová mapa.

Pracovní prostředí

Pracovní prostředí se skládá z několika dílčích oken, jejichž rozmístění si může uživatel dle potřeb libovolně měnit. Klasické rozmístění oken při spuštění aplikace lze vidět na obrázku níže (Obr. 4.1.2.).

Pro práci s vrstvami je v levé části pracovní plochy okno *Vrstvy (Layers)*, vedle kterého se nachází *Přehledové okno (2D Map)*. Toto okno nám přehledně umožňuje prostorovou orientaci v projektu, jako celku. V pravé části plochy je okno *Atributy měření (Measurement Attributes)*, kde se zobrazují atributy vyhodnocených bodů, jako třeba souřadnice, nebo dále atributy vyhodnocených linií, polygonů, kde se zobrazují informace těchto prvků. Velmi důležité jsou dvě spodní okna na *Ovládání snímků (Image Controls)*, které slouží k prohlížení panoramatických snímků, a laserových snímků k měření. [22]



Obr. 4.1.2. Pracovní prostředí aplikace PanoramaGIS při práci s projektem. [16]

- **Přehledové okno** – umožňuje globální náhled všech vrstev, slouží k rychlé orientaci a pohybu v projektu. Trajektorie MMS je znázorněna modrými body, které reprezentují jednotlivé panoramatické snímky, propojenými tenkou čarou, která udává směr jízdy. Zde si můžeme i zvolit podklad, ať již rastrovou (tif, cit) nebo vektorovou (dgn, dxf, shp) mapu.
- **Okno Vrstvy** – zobrazuje otevřené vrstvy projektu. Lze volit viditelnost vrstev. Soubory v záložce Vrstvy, které se zobrazí v Přehledovém okně, mohou být ve formátu tiff, jpg, shp nebo dgn. Vrstvy s prostorovými vektorovými daty se promítnou přímo do panoramatických snímků, jedná se o data ve formátu dgn a shp.
- **Okno Atributy měření** – dochází zde k automatickému ukládání a tvorbě zápisu souřadnic vyhodnocovaných bodů. Za číslo bodu a vlastní souřadnice prostorové polohy, uložených v systému JTSK a Bpv, se ukládá také datum vytvoření, číslo snímků, ze kterých byl bod vyhodnocen, poznámka a další atributy. Položky je možné editovat. Důležitý je ale žádaný export takto vytvořeného seznamu souřadnic včetně všech položek. Uložení je nabídnuto ve formátu txt, shp. To jsou formáty podporované aplikacemi pro práci s GIS. K těmto datům lze pro lepší vizualizaci a přehlednost připojit i snímky s detailem.

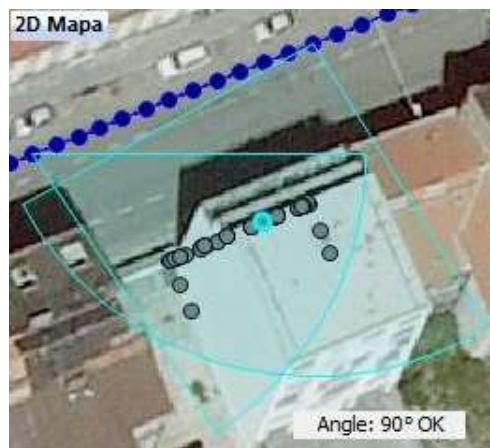
- **Okno Ovládání snímku** – je tvořeno dvojicí oken zobrazujících panoramatické snímky. Ty můžeme volit přímo z *Přehledového okna*, podle čísla konkrétního snímku, nebo pohybem po trajektorii pomocí šipek. Optimální konfiguraci a samotné vyhodnocení, které se provádí právě v těchto oknech, popisují v kapitole 4.1.2./3.

Jeden z cílů této diplomové práce je analýza výstupních dat s ohledem na využití v architektuře. Proto byly vyhodnocované body v aplikaci PanoramaGIS® určovány kombinací dvou nabízených metod. První metoda vychází z podkladu pouze panoramatických snímků, a je založena na aplikaci metod pozemní fotogrammetrie, kdy pro vyhodnocení zájmového bodu bylo nutné bod interpretovat alespoň na dvou snímcích. Druhá metoda vyhodnocení proběhla na základě laserových dat s podkladem panoramatických snímků. Při tomto vyhodnocení bylo třeba počítat s chybou polohy snímku a mračen bodů. Výstupem je seznam souřadnic bodů (X, Y, Z) ve formátu txt, který lze vidět v *Příloze č. 1*.

4.1.2. Měření bodů na základě panoramatických snímků

Tato metoda určení souřadnic libovolného bodu vyžaduje v aplikaci PanoramaGIS® zvolený bod identifikovat na dvou snímcích. Pro usnadnění se nám zobrazuje epipolární přímka, kdy bodu určenému na jednom snímku odpovídá přímka na druhém snímku, a lze snázeji najít bod ležící na přímce, či v blízkém okolí, než bod hledat kdekoli na celém panoramatickém snímku.

Přesnost měření je závislá především na přesnosti určení trajektorie automobilu, a na konfiguraci vybraných snímků. Z tohoto důvodu bylo třeba zvolit takovou dvojici snímků, u kterých se osy záběru protínají pod velkým úhlem, z hlediska geometrie nejlépe při 90°, avšak pro přesnější identifikaci bodů je optimální 60°. Úhel protnutí vizuálně ověříme v okně *2D Mapa* (*Obr. 4.1.3.*), kde je znázorněn světle modrými polopřímkami.



Obr. 4.1.3. Kontrola úhlu protnutí v okně 2D Mapa. [16]

V prvním kroku se vybraný bod označí kliknutím levého tlačítka myši na jednom snímku, a následně za pomoci epipolární přímky na snímku druhém. Bod se na obou snímcích označí červeným křížkem. V dolní části, při stisku tlačítka „Výpočet souř.“, se nám zobrazí vyhodnocené souřadnice měřeného bodu. Na panoramatických snímcích se označí kroužkem s šedou barvou, a je mu přiřazeno i pořadové číslo (Obr. 4.1.4.). Zároveň se vypočítaný bod zaznamená do okna *Atributů bodových prvků*. [22]



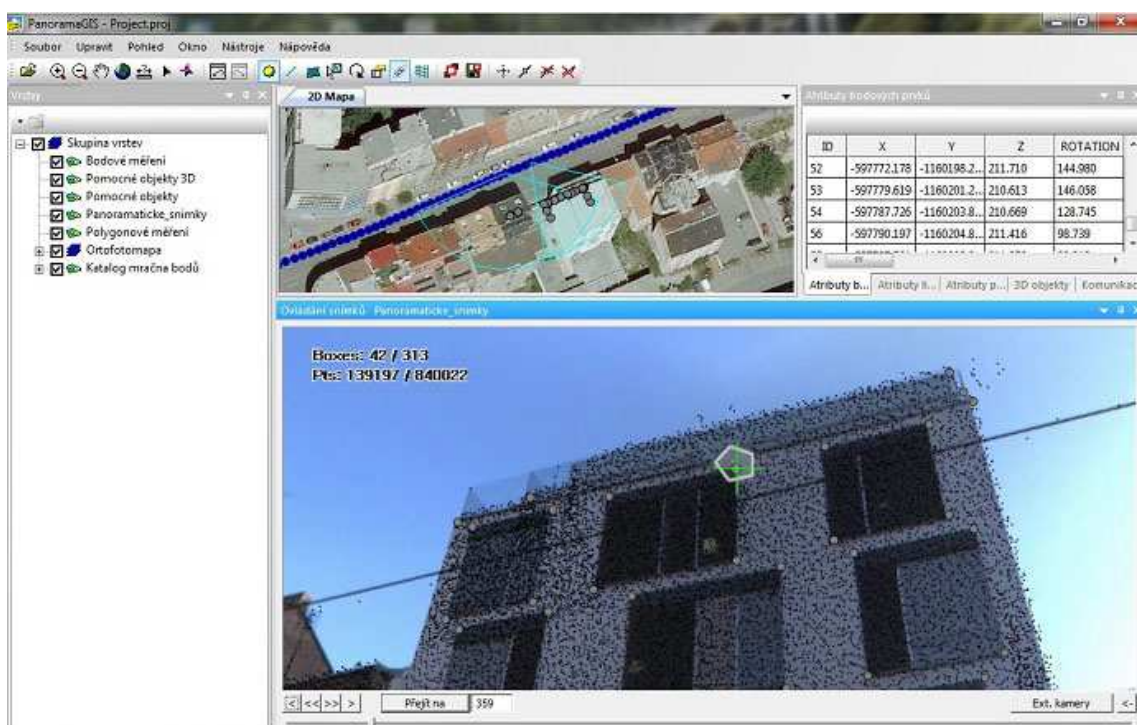
Obr. 4.1.4. Detail okna Ovládání snímků s bodovými a liniovými prvky. [16]

4.1.3. Měření bodů na základě laserových dat

Laserové data je potřeba zobrazit pomocí zaškrtnutí viditelnosti vrstvy s *laserovými body* v okně *Vrstvy*. Zapnutou vrstvu poznáme jednoduše na panoramatických snímcích, které se překryjí naměřenými mračny bodů. Již zde však stojí za povšimnutí malý posun mezi snímkem z panoramatické kamery a odrazem laserových paprsků. Tato odchylka se zdá být konstantní, a přisuzuji ji nepřesné kalibraci dvou různých zařízení, kdy záleží na pohybu a jeho rychlosti.

Pro správnou interpretaci zájmového bodu je třeba provést vyhodnocení na snímku, který je pořízen co nejbližší k objektu. Jinak dochází ke snížení interpretace. Pro vyhodnocení laserových dat jsou v aplikaci k dispozici tři nástroje – *vytvořit bod*,

vytvořit linii, vytvořit polygon. Nejdříve bylo použito nástroje *Vytvořit bod*, a pak i nástroje *Vytvořit linii*. Po výběru nástroje je potřeba kurzorem myši najet na panoramatický snímek, až se zobrazí speciální pětiúhelníkový terč, jehož středem se definuje měřený bod (Obr. 4.1.5.). Vyhodnocení proběhne levého tlačítka myši. Pokud se při měření stiskne a podrží klávesa *Shift*, společně s pětiúhelníkovým terčem se zobrazí trojúhelníková síť bodů pro upřesnění polohy bodu, tzv. *mesh*. Bod je opět zvýrazněn šedým kroužkem a štítkem s pořadovým číslem. Souřadnice bodu se automaticky objeví v okně *Atributy bodových prvků*. Nástroj pro vektorizaci linie funguje obdobně.



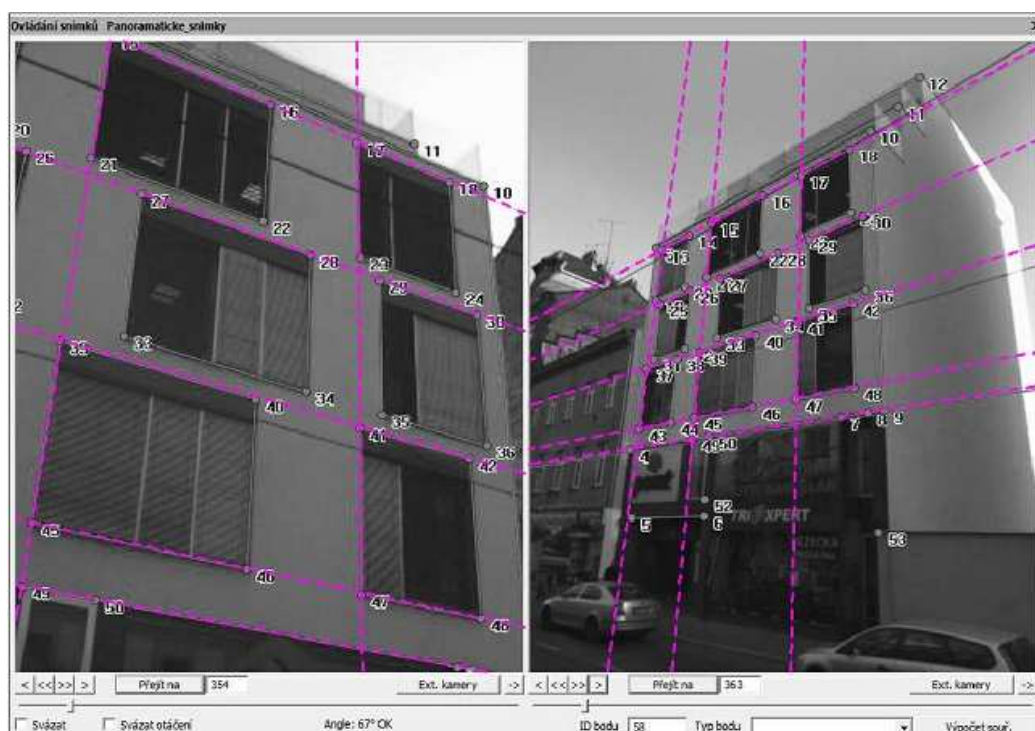
Obr. 4.1.5. Vyhodnocení na základě laserových dat v aplikaci PanoramaGIS. [16]

4.1.4. Návrhy nejen pro software PanoramaGIS® z hlediska architektury

Na základě zpracovávání a měření charakteristických bodů fasády v PanoramaGIS® jsem si uvědomil několik možností, jak práci v takovémto softwaru zefektivnit, usnadnit, případně posunout hranice využitelnosti, ať již v oboru architektury, či samotného projektování. Tyto možnosti vidím ve formě nových nástrojů, které popisuji v následujících odstavcích.

- **Offsetové linie, pravítko**

V architektuře jako takové lze ve většině případů najít symetrii. Koncept může být založen na určitém rytmu, který se opakuje, případně je stanoven v liniích, ať už jsou ve směru horizontálním, či vertikálním. Abychom této symetrie jednoduše dosáhli i při práci v software PanoramaGIS®, může nám vodítkem být právě nástroj *Pravítko/Offsetová linie*.



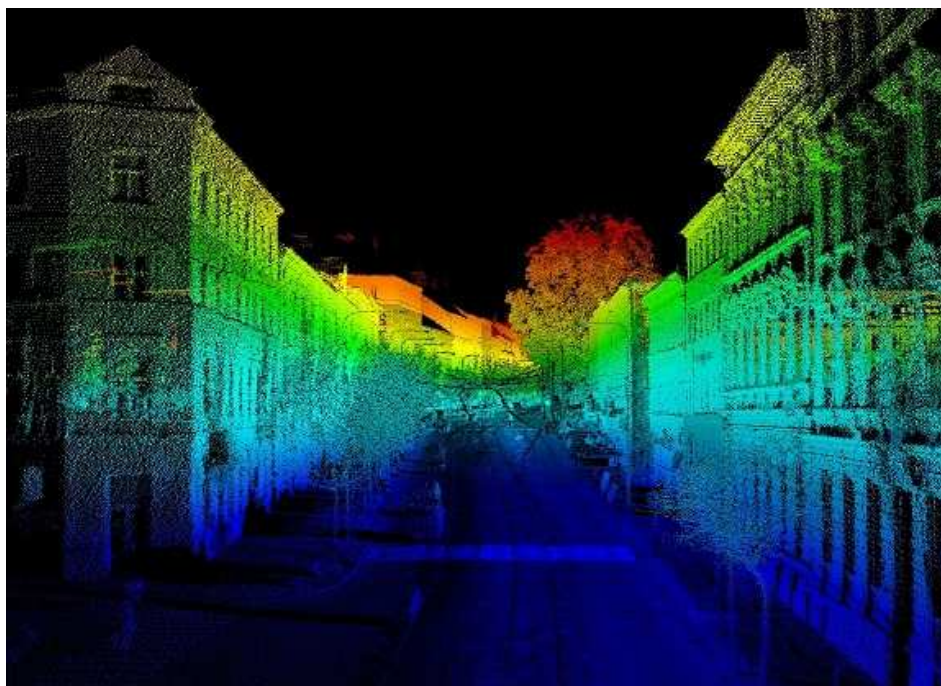
Obr. 4.1.6. Okno *Ovládání snímků* s navrhovaným nástrojem *Pravítko/Offsetová linie*. [16]

Byl by vytvářen v samostatné vrstvě, kterou lze jednoduše de/aktivovat. Jedná se o nástroj, který by na začátku umožnil definovat svůj vlastní prostorový systém (rovinu), ve kterém by bylo možné vytvořit linii (např. čárkovanou čáru – možná změna stylu, zvolení barvy) na základě udaných souřadnic, nebo jen jedné souřadnice a směru, případně určení přímo jen v okně *Ovládání snímků*. Tyto linie by bylo možné kopírovat, či offsetovat do zvolených směrů a vzdáleností, na základě ať již pevných hodnot, nebo referenčních bodů. Po vytvoření takových vodítek by samotné vyhodnocení bodů, za pomoci funkce „přichytávání“ (snap) bylo mnohem snazší a rychlejší, ale především by podporovalo symetrii reálného objektu (Obr. 4.1.6.). Následný export vyhodnocených bodů a linií by opravdu mohl sloužit jako podklad pro vytvoření 3D dokumentace.

- **Simulace pohledu (animace určité trajektorie)**

Další 2 nástroje se týkají využití vytvořeného 3D modelu pro simulaci pohledů, propojení. Při navrhování v architektuře je stejně tak důležitá vnitřní funkčnost objektu, jeho dispozic, propojení interiéru s exteriérem, jako vnější výraz budovy, její „zapadnutí“ či korespondence do okolí. Tyto kvality si díky mobilnímu mapování můžeme ověřit již v rané fázi projektu. V případě nástroje *Simulace pohledu* by nám byla umožněna především vizuální představa člověka daného projektu.

Na základě zadané prostorové polohy a směru pohledu bychom si, opět v okně *Ovládání snímku*, mohli ze všech úhlů pohledu vizualizovat daný záměr. Případně simulovat pohled z okna, balkónu, terasy, pochozí střechy (Obr. 4.1.7.). Zadání polohy a směru pohledu by bylo možné i v okně 2D Mapa, společně s výškovou souřadnicí.



Obr. 4.1.7. Ilustrační obrázek - pohled do ulice, freeware QuickTerrainReader. [16]

Náročnějším nástrojem především pro výkon procesoru a grafické karty počítače by byla animace simulovaného průletu. Tento nástroj by musel být rozdělen do více kroků, kde nejdříve určí trajektorii animace, v druhém kroku by proběhl přepočet projekčních center laserových dat i s daty 3D návrhu modelu do požadované trajektorie, a až následně by bylo možné animaci prohlédnout, ať již po určené časové sekvenci, nebo vcelku jako video.

- **Osa - propojení, zorný úhel**

Ať již v urbanismu, kde struktura města je koncipovaná na základě významných prvků (kostel, kašna, morový sloup, muzeum atd.), které podporují orientaci člověka, tak i v architektuře drobných objektů s cílem propojení, jsou používány osy. Tyto osy, vycházející většinou z okolí a jeho vztahů, nám často ovlivňují tvar budov, uličních čar, až samotných obcí či měst. Představa funkce nástroje je v možnosti umístění těchto pomocných os, a následné vizuální kontroly propojení (ověření viditelnosti, ve 3D – i výškově) nebo takto vytyčených hmot, již ve fázi projektu.

Zadání *Osy* by bylo podobného rázu, jako u *Offsetových linií*. Přímou zadáním souřadnic dvou bodů, nebo určením přímo v okně *Ovládání snímku*.

Tento nástroj by mohl mít ještě další funkci v podobě zjištění, či nastavení zorného úhlu. Funkce zorného úhlu by bylo možné užít také pro dopravní stavby, kdy po užití mobilního mapovacího systému by bylo možno hodnotit území (křižovatky) zda splňují normy dopravních staveb.

Software PanoramaGIS® je zatím stále však založen na práci s panoramatickými snímky a laserovými daty na určené trajektorii sběru dat. Proto vyvojově a technologicky vzato by bylo možné aplikovat především nástroj *Offsetové linie/pravítka*. Poslední dva uváděné nástroje pracují spíše s již celkovým 3D modelem z laserových dat, proto nástroj *Simulace pohledu* a *Osy* by bylo snazší začlenit na příklad do freeware čtečky soborů formátu las, QuickTerrainReader, a podobných softwarů. Ovšem software PanoramaGIS® se stále vyvíjí, a věřím, že společně s mobilním mapovacím systémem bude mít na poli architektury ještě široké využití.

5. VYUŽITÍ SYSTÉMU V OBORU ARCHITEKTURY

Modelování různých objektů, domů, celých ulic a měst je oboru architektury vlastní. Jakmile se v hlavě zrodí myšlenka, je snaha o zachycení nápadu na papír alespoň v podobě skic. Nicméně samotný model, i když v jiném měřítku, je nepostradatelnou součástí rychlého a přesného pochopení, či prezentace daného záměru. V dnešní době plné animací a vizualizací se ovšem již tak neholduje skutečnému modelu, ač o jeho potřebách není pochyb, ale modelu digitálnímu.

Architekti, projektanti, a další lidé pracující s různými 3D modely jsou odkázáni na práci s počítačem s velkým počtem 3D softwaru od počátků návrhů, při zpracování projektů, až po vytváření různých potřebných pasportů a řešerší.

Současným trendem je tvorba 3D modelů celých měst, dostupných ať již pro širokou veřejnost na internetu, tak i například pro urbanisty, architekty, kteří tyto modely využívají pro svoji práci. S pokračujícím vývojem technologií mobilního mapovacího systému, a softwaru zpracovávající takto nasbíraná data se nám otvírají dveře do digitálního 3D světa. Možností využití MMS v oboru architektury jsou široké, a v této kapitole budou představeny ty nejvýraznější.

5.1. TVORBA MĚST

V literatuře je popsáno mnoho způsobů, jak vytvořit modely měst. Dříve se toto modelování provádělo pomocí klasické letecké fotogrammetrie, ale jeho hlavní nevýhodou je „chudé“ zastoupení fasád objektů.

V posledních letech se stala hitem unikátní technologie šikmého snímkování, kdy tímto systémem se v ČR zdokumentovalo na 80% obcí a měst. Na rozdíl od klasických svislých snímků, na kterých jsou objekty zobrazeny především půdorysně, poskytují šikmé snímky informaci pořízenou ze 4 bočních pohledů. Takto získané snímky doplňují informace získané z ortofotomap.



Obr. 5.1.1. Ukázka šikmého snímku. [27]

Lze na příklad vidět vzájemné vztahy mezi sousedními budovami, návaznost na přístupová místa k budovám i vazbu na okolní infrastrukturu (Obr. 5.1.1.). Díky vysokému rozlišení snímků v rozsahu 0,1 až 0,2m je možné pozorovat detaily balkónů, galerií a fasád včetně technického zařízení. Pro práci s databází snímků byla vyvinuta aplikace PixoView firmou Geodis Brno spol. s.r.o., která je dodávána i koncovým zákazníkům. Široká veřejnost si může prohlédnout příklad šikmého snímkování v aplikacích map na webovém portálu Seznam.cz.

Avšak stále v důsledku rostoucí poptávky po fotorealistické a digitalizované skutečnosti, mohou být takto vytvořené modely, nebo lépe mapy, jen stěží dostačující. Východiskem je právě sloučení 3D laserskeningu a digitální fotogrammetrie v mobilních mapovacích systémech.

V současnosti se také stále pracuje na vývoji užití mobilního mapovacího systému na bezpilotním letounu (UAV). Především na tzv. dronech, což jsou modely vrtulníku, které jsou osazeny několika vrtulemi pro jemné manévrovací pohyby, a uzpůsobeny právě pro mapovací systém. Takto provedený sběr dat má výhodu v podstatě neomezené dostupnosti ke skenovaným objektům, a eliminaci možných stínů laserových paprsků v podobě balkónů, zeleně, automobilů, elektrických a telekomunikačních sítí atd. Velký potenciál dronů lze také využít i v jiných případech a oborech.

Sběr dat laserovým skenerem poskytuje vysokou hustotu bodů, které jsou zdrojem pro veškerá další zpracování. V závislosti na zamýšleném použití jsou různé přístupy modelování. Obecně jsou však data rozděleny do tříd: mračna bodů terénu, mračna bodů budov, a mračna bodů uličních scén (zeleně, mobiliář, apod.). Další rozdělení je závislé na úrovni stupně detailu. Tento popis se zaměřuje na hybridní model měst, kde jsou geometrické objekty a terén nahrazeny pouze jejich kostrou, zatímco tvarově náročné objekty jsou zastoupeny samotnými mračny bodů. Efekt tohoto obecného a hybridního modelu je ve snížení obrovského množství uložených dat. Tyto úkony jsou schopny provést speciální softwary, jako např. RiScanpro.

Jak již bylo zmíněno, je třeba vzít v úvahu pozdější použití modelu města. Dle toho jsou zpracovány jako:

5.1.1. Jednoduchý model pro rychlou vizualizaci

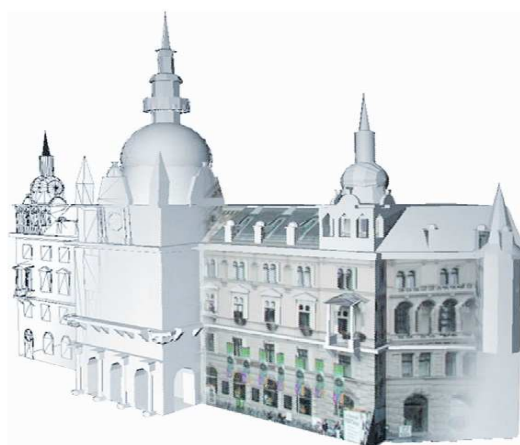
Tento jednoduchý model slouží především pro rychlé vytvoření celého města, případně jeho širší oblasti. Jedná se o model (Obr. 5.1.2.), který je odvozen z významných linií skenovaných objektů, na základě jeho hmotových objemů a tvarů. Zpracování probíhá většinou za pomoci pozemních náčrtů z katastrálních map neimportovaných do podkladních vrstev. Po sběru laserových dat mobilním mapovacím systémem, nám data poskytují relativně přesnou výšku budovy (po římsu) a půdorysný tvar objektů. Ovšem pro jednoduchý hmotový model střech je třeba dalších informací. V místech kde již proběhlo šikmé snímkování, můžeme vycházet z těchto podkladů. Po vytvoření hmotového modelu jsme schopni např. v softwaru CityGrid Modeler tento model namapovat digitálními fotografiemi fasádních ploch pořízených během mobilního mapování.



Obr. 5.1.2. Ukázka jednoduchého modelu. [25]

5.1.2. Komplexní model

Složitější model s časově náročnějším zpracováním. Je již založen na mračnu bodů a zabývá se strukturováním fasády a geometrií střechy. Klíčovými prvky jsou lomové čáry, které lze získat z digitálních snímků. Komplexní model (Obr. 5.1.3.) obsahuje tři tvůrčí stupně: základní kostra modelu, hmota modelu, otexturování modelu.

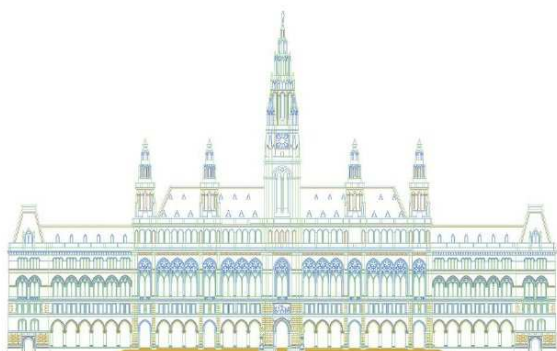


Obr. 5.1.3. Ukázka komplexního modelu. [25]

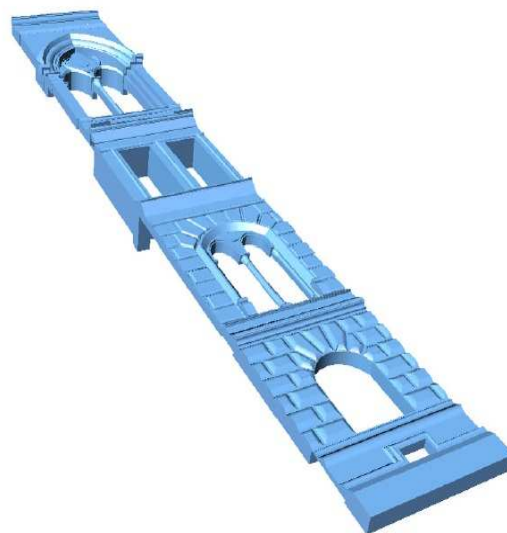
5.1.3. 3D architektonická dokumentace

Tento model je zpracováván v menším rozsahu, většinou jeden objekt, ale velmi detailně. Používá se zde až několik přesných digitálních ortofoto snímků daného objektu (fasády), kde společně s mračny bodů jsou zde generovány veškeré lomové čáry, také s důrazem na informaci hloubky reliéfu. Geometrie modelu je vytvářena na podkladu digitálních snímků z laserových dat. V druhém kroku jsou snímky použity pro finální otexturování. Sběr dat pro takovou dokumentaci je prováděn několikrát a následně softwarem vyhodnocen a spojen do jednoho kvalitního georeferencovaného souboru, a transformován do daného souřadnicového systému (u 3D architektonické dokumentace se jedná často o projektový souřadný systém).

Některé softwary pro takto zpracované soubory jsou schopny i exportu každého bodu modelu, který nese informaci o prostorové poloze a svém obarvení, na příklad do CAD programů (Obr. 5.1.4./5.). Zde jsou možné další práce na modelu, případně části modelu. [25]



Obr. 5.1.4. Ukázka 3D dokumentace. [25]



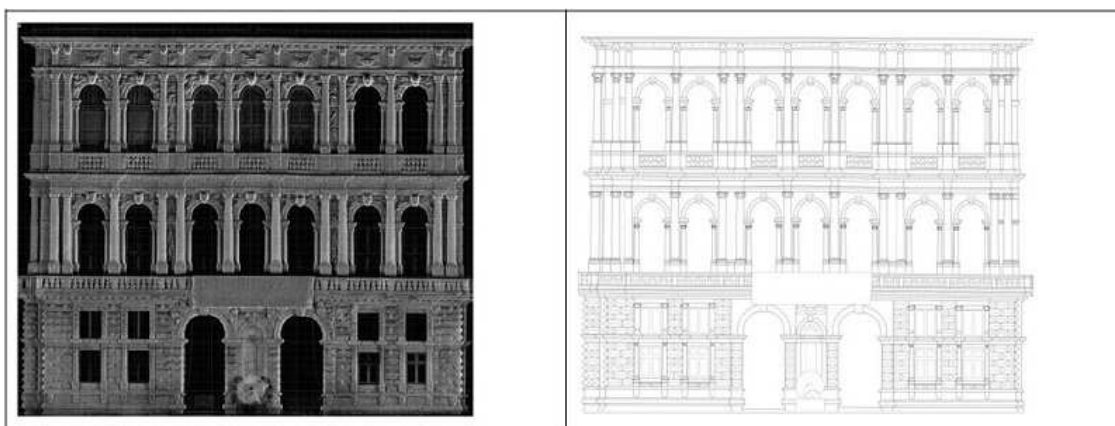
Obr. 5.1.5. 3D model skenované fasády. [25]

5.2. Pasport historických a cenných objektů

Detailní 3D architektonická dokumentace popisovaná výše ovšem neslouží již jen pro tvorbu modelů měst, virtuálních prohlídek. Technologická vyspělost jednotlivých komponent mobilního mapovacího systému (osazený ať už na souši, vodě, či ve vzduchu) nyní umožňuje získat vysoce přesných 3D mračen bodů při obdivuhodné rychlosti. Proto se tyto systémy začínají používat i pro tvorbu pasportů různých cenných historických objektů, uličních řad, které jsou odkazem člověka z minulosti. Tyto pasporty mohou být uloženy do digitální databáze, a sloužit pro uchování alespoň přesných digitálních informací, v případě totální degradace objektů.

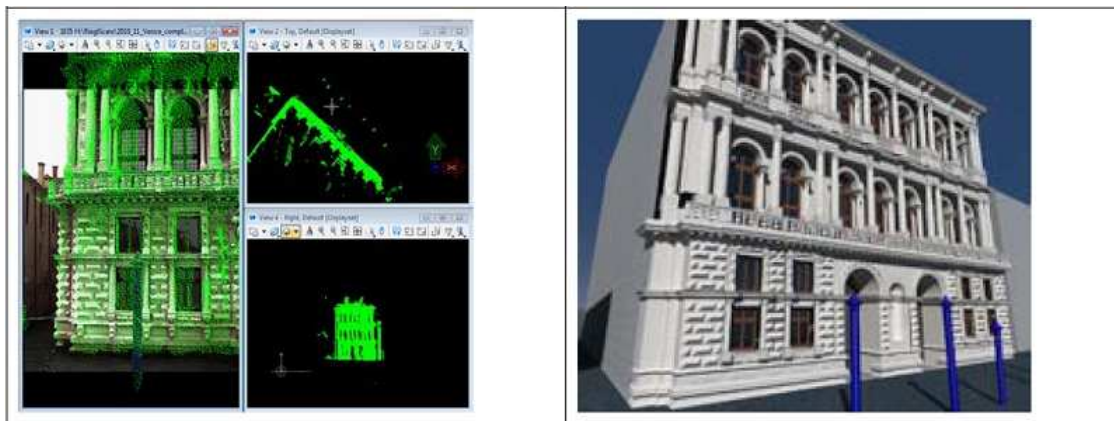
Realizace takových projektů byla provedena například v Benátkách. Na Obr. 5.2.1./2. lze vidět proces vytvoření takového pasportu. Sběr dat pro takový případ je obdobný, jako je popisován v kapitole 4. V případě post-processingu bylo třeba určení trajektorie a na základě toho došlo k vytvoření mračen bodů v softwaru RiProcess. Dalším nástrojem došlo k obarvení mračen bodů na základě digitálních snímků, a projekt se natransformoval do italského souřadnicového systému během exportu dat do formátu *.las. Pro kontrolu přesnosti bylo použito i známých vlíčovacích bodů.

Ve spolupráci s rakouskou kanceláří EKG Baukultur a německou firmou Phocad došlo k vyhodnocení snímků a mračen bodů (Obr. 5.2.1.) pro další zpracování.



Obr. 5.2.1. Ortogonální zobrazení bodového mraku a 2D CAD kresba – Casa Pesaro, Venice. [26]

Samotné digitální modelování je prováděno v softwaru Phidias od firmy Phocad, který je velmi kvalitním nástrojem pro vytváření 3D modelů (Obr. 5.2.2.) na základě kombinace sběru dat laserovými skenery a digitálních snímků, a ze získaného modelu je již jednoduché vytvořit i výkres fasády ve 2D (Obr. 5.2.1.).



Obr. 5.2.2. Software Phidias - metoda monoplottingu, a 3D CAD model – Casa Pesaro, Venice. [26]

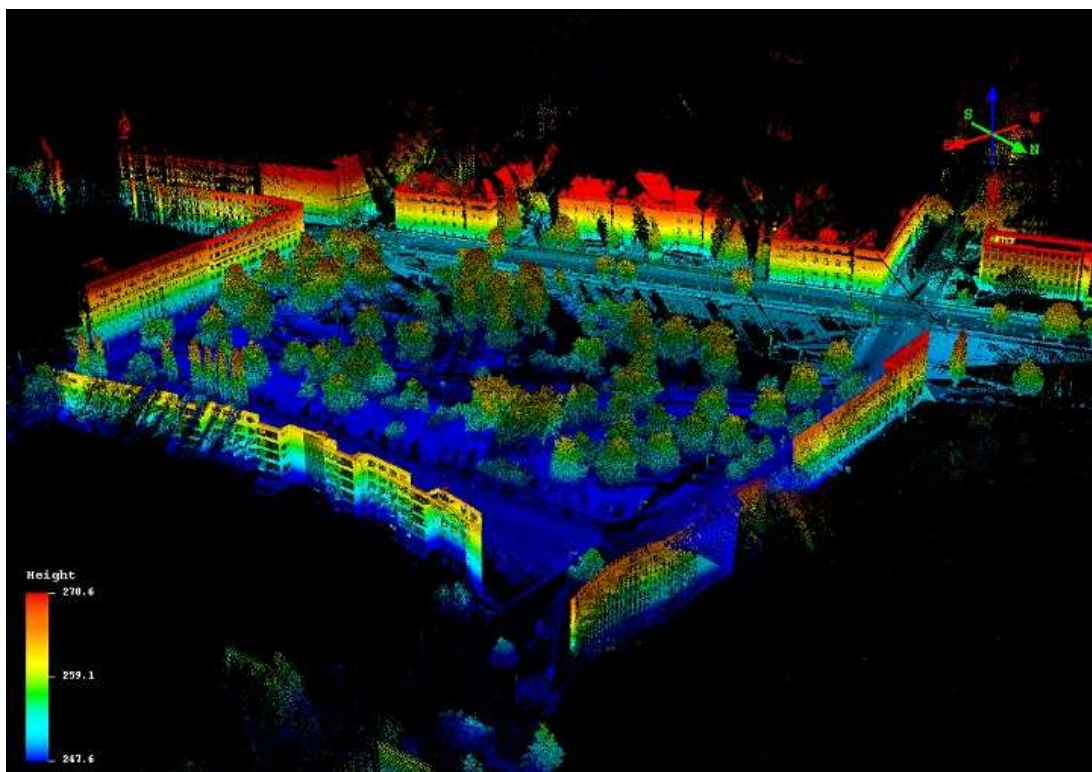
5.3. Před/projektová dokumentace

Velkou pomocí může být tento systém mobilního mapování právě pro návrhy architektů, projektantů, kteří při navrhování správně vychází zejména z blízkého okolí, tak aby daný objekt korespondoval se stávající zástavbou a terénem. Jak jsem zmiňoval výše, tyto návrhy jsou většinou již tvořeny ve 3D programech. Proto jeden z počátečních úkonů zahrnuje i modelování okolí návrhu. Toto je velice pracné a zdoluhavé. Nicméně model slouží nejen pro kvalitní návrh, ale i pro výstupy vizualizací, což je v dnešní době součástí kvalitní projektové dokumentace.

Díky využití rychlého mobilního mapovacího systému jsme schopni rychle obdržet informace o hmotových proporcích, uliční čáře okolí, výšky říms, tvary střech, podlažnost a důležité architektonické tvarosloví zájmové lokality.

Při návrhu slouží k aktuální vizuální informaci nejen samotného objektu, ale nabízí podklady pro tvorbu fasády a otvorů s možností kontroly právě viditelnosti do okolí, případně nastavit průhledy otvorů na významné prvky (monumenty).

Pro rychlou ukázkou pořízených dat systémem MOMAS firmy Geodis Brno ve formátu *.las lze použít freeware Quick Terrain Reader, který na obrázku (Obr. 5.3.1.) zobrazuje možnou zájmovou lokalitu před návrhem.



Obr. 5.3.1. Ilustrační obrázek před/projektového 3D modelu okolí Björnsenova sadu, Veverčí. [16]

6. POSOUZENÍ PŘESNOSTI

Pro ověření správnosti a kontroly přesnosti mobilního mapovacího systému bylo totální stanicí provedeno polohové a výškové zaměření charakteristických bodů uliční fasády domu Milady Horákové. Takhle získaný soubor bodů byl porovnán s body určenými pomocí dvou metod v aplikaci PanoramaGIS®, kde byly body určeny z panoramatických snímků a laserových dat. Tyto tři soubory se souřadnicemi stejných bodů byly následně statisticky porovnány.

6.1. POPIS GEODETICKÉHO ZAMĚŘENÍ

Zaměření charakteristických bodů fasády domu Milady Horákové bylo provedeno za použití totální stanice TOPCON GPT-3003N (Obr. 6.1.1.) (v.č. 4D0505), která umožňuje metodu bezhranolového měření. Tato metoda byla nutná z hlediska nedostupnosti bodů pro odrazný hranol. Charakteristiky přesnosti udávané výrobcem jsou $10''$ pro úhlové měření, a $2\text{mm}+2\text{ppm}$ pro klasické délkové měření. Při bezhranolovém módu měření je udávaná přesnost výrobcem pro délkové měření $5\text{mm}/\text{nad } 25\text{m}$, a $10\text{mm}/1,5\text{--}25\text{m}$.



Obr. 6.1.1. Topcon GPT 3003N. [23]

Polohově byly body určeny polární metodou s alespoň 3 orientacemi na známé body, a to dvakrát nezávisle ze dvou stanovisek. Z totální stanice byly naměřené data staženy pomocí programu Geoman ve formátu *.sdt a *.zap. A dále byly data zpracovány v programu Geus. Při výpočtu byla zavedena matematická korekce z nadmořské výšky, tak i redukce do zobrazovací roviny S-JTSK. Protokol o výpočtu a výsledný seznam souřadnic jsou v Příloze č. 2. Výškové určení bodů bylo určeno trigonometricky z nivelačního bodu JM-071-601, a výpočtem přeneseno na podrobné body zaměření.

6.2. POSOUZENÍ PŘESNOSTI CHARAKTERISTICKÝCH BODŮ

Pro posouzení přesnosti byly vytvořeny tři porovnávací soubory, jejichž poloha byla určena jak z měření MOMASu, tak i geodetickou metodou.

- porovnávací soubor: laserových dat – geodetického měření
- porovnávací soubor: panoramatických snímků – geodetického měření
- porovnávací soubor: panoramatických snímků - laserových dat

Kdy vyhodnocením porovnávacího souboru panoramatických snímků a laserových dat byla určena chyba z rozdílu určení bodu při užití, již popisovaných, dvou metod zpracování v softwaru PanoramaGIS®. Porovnávací soubory obsahují 52 bodů rovnoměrně rozmístěných po celé fasádě zaměřeného domu Milady Horákové.

U metody geodetického měření se hodnota střední polohové chyby rozdílu dvojího určení odvíjí od bodového pole – body PPBP se střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 0,06\text{m}$. Tato odchylka by se měla pohybovat do 10cm. Střední prostorová chyba rozdílu dvojího měření při metodě MMS, a trigonometrické metodě (i nivelace), se předpokládá řádově také na 10cm.

Nejdříve byl proveden výpočet diferencí jednotlivých souřadnic měřených bodů, kde následně pro každou souřadnici byla vypočtena standardní odchylka souboru měření:

$$m = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad , \text{ kde } \begin{array}{l} d - \text{diference jednotlivých dvojic} \\ n - \text{počet dvojic} \end{array}$$

Pro každý porovnávací soubor byla dále vypočtena souhrnná polohová odchylka:

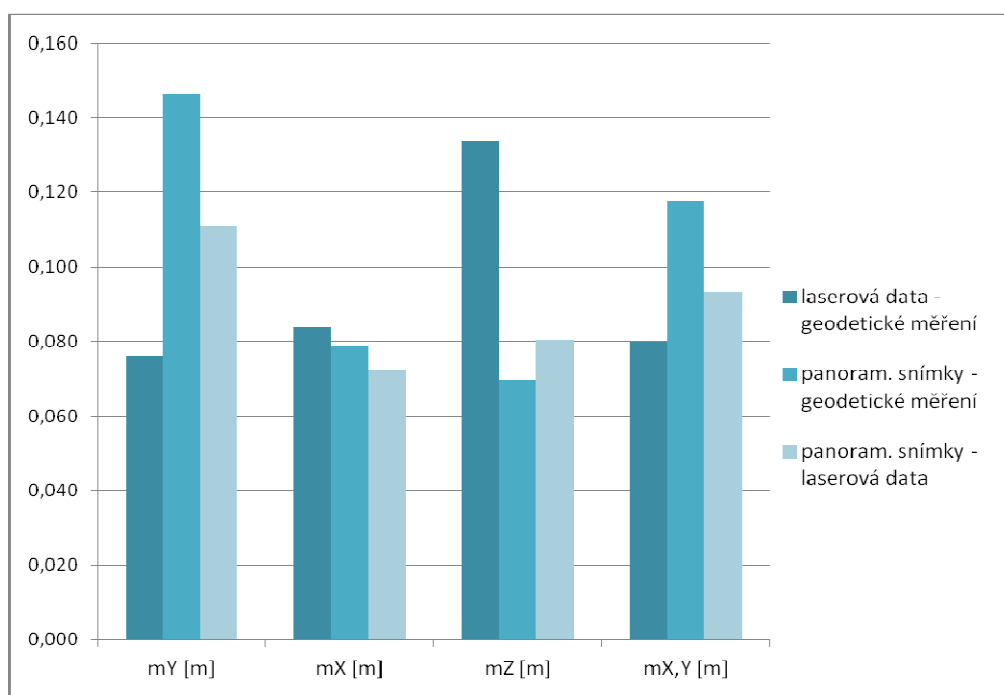
$$m_{xy} = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}} \quad , \text{ kde } \begin{array}{l} m_x^2 - \text{standardní odchylka souřadnice } x \\ m_y^2 - \text{standardní odchylka souřadnice } y \end{array}$$

[24]

Hodnoty standardních odchylek jednotlivých souřadnic, souhrnné polohové odchylky a prostorové odchylky jsou seřazeny v tabulce Tab. 6.2.1., a grafické vyjádření lze vidět na grafu Graf 6.2.1.

PODROBNÉ BODY / PŘESNOSTMĚŘENÍ	m_y [m]	m_x [m]	m_z [m]	$m_{x,y}$ [m]
laserová data - geodetické měření	0,076	0,084	0,134	0,080
panoram. snímky - geodetické měření	0,146	0,078	0,070	0,117
panoram. snímky - laserová data	0,111	0,072	0,080	0,093

Tab. 6.2.1. Odchylky posuzovaných souborů ze zaměření fasády DMH.



Graf 6.2.1. Grafické vyjádření odchylky posuzovaných souborů.

Pro posouzení jsou zajímavé dvě výsledné hodnoty, překračující očekávanou přesnost. V první řadě se jedná o m_y - odchylku souřadnice y u souboru panoramatických snímků a geodetického měření. Právě při účasti panoramatických snímků v posuzovaných souborech se odchylka výrazně zvětší. Již při vyhodnocování a zpracování panoramatických snímků v programu PanoramaGIS® bylo možno zaregistrovat nesoulad hran, linií, a bodů s laserovými daty. Jednalo se především o posun snímku a laserových mračen ve směru pohybu automobilu mobilního mapovacího systému, což je právě i směr blízký posunu po ose y . Jelikož laserová data

s geodetickým souborem vykazují vcelku vysokou přesnost, tak vinu vysoké odchylky při panoram. snímcích přičítám digitální sférické kameře. Pravděpodobně její kalibrace a synchronizace s ostatním zařízením MMS není optimální, především z hlediska času snímání.

Druhý rozdílný výsledek odchylek posuzovaných souborů lze sledovat u výškové souřadnice, souboru laserových dat a geodetického zaměření. Zde velkou roli mohlo sehrát zastínění signálu pro GNSS přijímač při jízdě ulicí s vysokou městskou zástavbou, společně s jeho horší výškovou přesností. Nemalý podíl vysoké hodnoty odchylky m_z může mít i geodetické zaměření charakteristických bodů pod často až velmi strmými záměrami z důvodu vysokého domu a úzké ulice.

Nicméně při snaze eliminace těchto chyb a vlivů věřím, že mobilní mapovací systém MOMAS je schopen v případech fasád, objektů, proluk a dalších požadavků z oboru architektury (bez použití vlícovacích bodů), sbírat data s přesností do 0,10m.

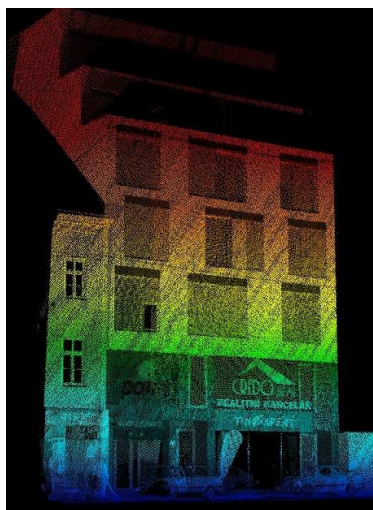
7. 3D DOKUMENTACE

Součástí této diplomové práce je vytvoření 3D dokumentace vybraného objektu, který byl zaměřen mobilním mapovacím systémem MOMAS. Z lokalit, v kterých byly data naměřeny, byla vybrána budova z tvorby architektů Dalibora a Heleny Borákových z roku 2008. Jedná se o **Dům Milady Horákové** (dále jen DMH, Obr. 7.1.1.), který vyrostl ve stejnojmenné ulici. Tato ulice byla kdysi významnou městskou třídou, která stále obsahuje klenoty brněnské moderny – dvojici bohatě zdobených nájemních domů od Josefa Müllera, a Okresní nemocenskou pokladnu od



Obr 7.1. Dům Milady Horákové. [16]

Huberta Gessnera Mezi těmito sousedy, v proluce, je stavba, jejíž fasáda se pro svou čistou formu a kontrastní barevnost stala předmětem zpracování 3D dokumentace.



Obr 7.2. Data skenerů DMH. [16]

Zpracování probíhalo na základě laserových dat (Obr. 7.2.) a panoramatických snímků z MMS v aplikaci PanoramaGIS®, dle popisu v kapitole 4.1.3. Nejdříve byly zaznamenány hlavní linie budovy a následně vyexportovány do 3D formátu *.dgn, a dále *.dxf.. Tento soubor byl importován, a sloužil jako podklad, v programu ArchiCAD firmy Graphisoft. Tento program je zaměřen právě pro architekty a projektanty, který na základě 3D prvků tvoří samotné 3D zobrazení s možností

následné vizualizace. Výstupy ze zpracovaného 3D modelu v programu ArchiCAD vidíme na Obr. 7.3./4./6.

Nicméně samotné zpracování je stále ještě „kostrbaté“ ať už pro nutnost použití mnoha programů, které nejsou v mé pozici plně dostupné, tak vlastní modelování probíhá na úrovni hledání symetrie v rozporu se zaměřenými daty, což samozřejmě souvisí i s přesností. Toto vyžaduje vcelku hodně času, ale výsledná 3D dokumentace fasády Domu Milady Horákové za to stojí.

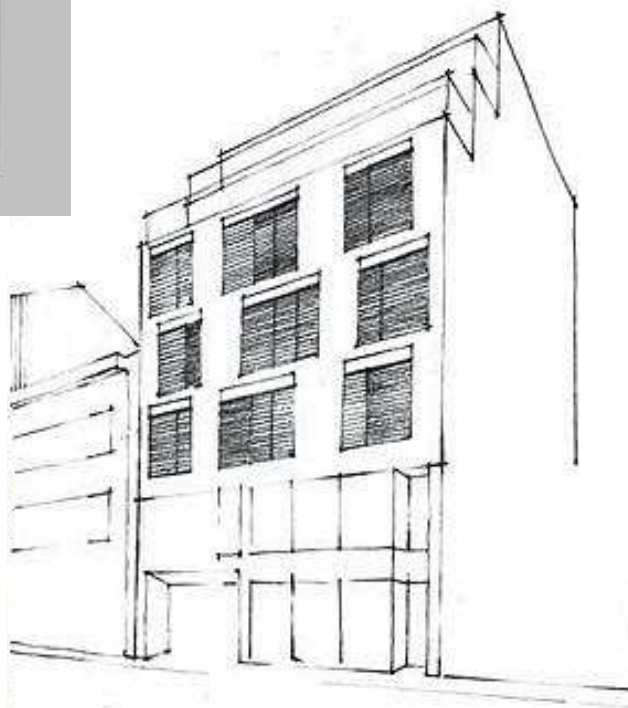


Obr 7.3. 3D vizualizace fasády DMH vytvořená v programu ArchiCad.

V současné době se nabízí mnoho způsobů jak k tíženému cíli dojít. Přes softwary CAD systémů od firmy Graphisoft, Microstation od firmy Bentley, a jejich nástaveb a modulů. A jako nejzdařilejší mne samotného zaujal modul právě pro Microstation se jménem Phidias od německé firmy Phocad. Tento nástroj je přímo vyvinut pro práci s naskenovanými laserovými daty a digitálními snímky, který jako nástavba na zmíněný Microstation, stále pracuje s plně georeferencovanými soubory. Práci v tomto programu lze vidět v kapitole 4.2. Tomuto modulu se nejbližší podobá aplikace PanoramaGIS® firmy Geodis Brno, která stále usilovně pracuje na vývoji tohoto softwaru a doplňuje potřebné nástroje. Věřím, že v budoucnosti bude kvalitním nástrojem i pro tvorbu 3D modelů.



Obr 7.4. 3D čelní pohled na model fasády DMH.



Obr 7.5. Skica fasády DMH - perspektiva. [16]



Obr 7.6. 3D vizualizace fasády DMH.

8. ZÁVĚR

Technologie mobilního mapování zaznamenala v posledních letech v České Republice velkého vývoje, kdy se jeho využití uplatňuje ve stále více oborech. Metoda mobilního mapování má bezpochyby významnou výhodu v rychlosti a schopnosti pořídit obrovské množství georeferencovaných dat s určitou přesností. Ovšem se nejedná jen o sběr dat jednotlivých bodů. Mobilní mapovací systém dokáže zachytit v podstatě celý virtuální obraz skutečnosti snímaného okolí. Což je cennou vlastností právě i pro obor architektury, při jejichž projektech velmi záleží na co nejpřesnějším přiblížení představ a vizualizací vůči skutečnému stavu.

V této diplomové práci, po seznámení se s mapovacím systémem MOMAS firmy Geodis Brno spol. s r.o., bylo cílem právě zabývat se analýzou výstupních dat s ohledem na využití systému v architektuře. Za tímto účelem a pro pochopení celého systému, jeho funkčních parametrů a reálných schopností s následným využitím v daném oboru, byl proveden sběr dat několika vybraných lokalit města Brna. Následně došlo ke zpracování získaných údajů, vyhodnocení dat v programu PanoramaGIS® a jejich exportu.

V samotném průběhu klasického zpracování dat v programu PanoramaGIS® jsem se pokusil teoreticky navrhnout nové nástroje do tohoto, či obdobného softwaru (Offsetová linie/pravítko, Simulace pohledu, Osy/zorný úhel), které by dle mého mínění usnadnili a zefektivnili práci na projektech pro obor architektury.

Následně se v práci zabývám využitím mobilního mapovacího systému v současnosti nejvíce populárním, a to je tvorba 3D modelů obcí a měst. Tady záleží na požadavcích na detail a výsledné použití, s čím souvisí pracnost zpracování, tedy časová zátěž, ale i nároků na hardware PC pro užívání. V rámci komplexních 3D modelů architektonické činnosti lze systém využít také pro vytváření pasportů historických a cenných objektů, uliční zástavbě apod., které jsou většinou národním bohatstvím. Toto však vyžaduje pečlivou přípravu a zajištění viditelnosti před samotným sběrem, který i tak nemusí být dostačující pro stíny laserových paprsků (římsy, balkony). Zde by bylo řešením použití MMS na tzv. dronech, neboli bezpilotních letadlech. Nicméně velkou pomocí pro architekty, projektanty je využití mobilního mapování pro samotné návrhy, či vytváření před/projektové dokumentace, kde na základě 3D modelu jsou schopni

upravovat a ladit své návrhy ze všech možných aspektů, jako je třeba návaznost na okolí, v podstatě od stolu.

V rámci práce bylo takové vytvoření 3D dokumentace prakticky provedeno. Vybraným objektem byl Dům Milady Horákové v Brně. Na základě sběru dat a jejich vyhodnocení v programu PanoramaGIS® došlo k vymodelování fasády domu v programu ArchiCad, kdy celý proces se potýkal s množstvím užitých softwarů a spolupráce jejich souborových formátů, jak popisují v práci. Tyto softwarové boje dle mého pramení stále z čerstvé technologie MMS u nás, kde zatím nachází zastání především v jiných oborech. Ale věřím, že s přibývajícími specifickými poptávkami pro použití mobilních mapovacích systému i v oboru architektury a stavebním, se vývojové centra MMS pustí do vylepšení či vytvoření nových aplikací, umožňující vytvoření 3D modelu na základě digitálních snímků a laserových dat.

Pro kontrolu a posouzení přesnosti byla fasáda DMH zaměřena geodetickou bezhranolovou metodou. Při posouzení přesnosti těchto dvou metod v případě odchylky souřadnice y a z, přesáhly očekávanou hodnotu $\pm 0,10\text{m}$ pravděpodobně z důvodů nepřesné kalibrace systému a možnému zastínění GNSS signálu. Dle mého názoru však většina využití MMS v oboru architektury bude zpracovávána v lokálním souřadnicovém systému, kde půjde dosáhnout lepší přesnosti.

Závěrem je ale také nutné zmínit ekonomickou stránku věci. Samotné pořízení MMS a dalšího softwarového vybavení se pohybuje v řádech miliónů českých korun, což je i pro velké projekční kanceláře, či ateliéry nemyslitelné. Proto máme jedinou možnost se v takovém případě obrátit na několik málo firem, které tyto služby nabízejí. Věřím, že při dosažení cenové dostupnosti takové služby, by mobilní mapování v architektuře dostalo širokého využití, a jistě by pomohlo zvednout nejen kvalitu současných návrhů.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PETRIE, G. *Mobile Mapping Systems : An Introduction to the Technology*. In GEOinformatics [online]. January/February 2010, 13, 1, [cit. 2011-04-26].
- [2] SUKUP, J. *Mobilní mapování: Učební texty k semináři*. Geodis Brno, spol. s r.o., 2010, 21 s.
- [3] Shi, Y.; Shibaski, R.; Shi, Z. C. *TOWARDS AUTOMATIC ROAD MAPPING BY FUSING VEHICLE-BORNE MULTI-SENSOR DATA*. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5*. [online]. Beijing, 2008 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z [www: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/151.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/151.pdf).
- [4] GREJNER-BRZEZINSKA, Dorota A. *Direct Georeferencing at The Ohio State University: A Historical Perspective* [online]. PERS, June 2002. Dostupné z [www: http://www.asprs.org/a/publications/pers/2002journal/june/georef.html](http://www.asprs.org/a/publications/pers/2002journal/june/georef.html).
- [5] HANZL, Vlastimil. *FOTOGRAMMETRIE: MODUL 01 – Teoretické základy fotogrammetrie*. CERM, Brno 2006.
- [6] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; WEIGEL, Josef; MACHOTKA, Radovan. *SEMINÁŘ GPS: MODUL 01, Metodika GPS měření a vyhodnocení*. CERM, Brno, 2007.
- [7] *Detopografia: Antiguos instrumentos de navegación*. [online]. 2012. [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: [www: www.detopografia.blogspot.cz/2012_12_01_archive.html](http://www.detopografia.blogspot.cz/2012_12_01_archive.html).
- [8] GeoBusiness: *Geodis mapoval Labsko-vltavskou vodní cestu*. [online]. 2012. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.geobusiness.cz/2012/11/geodis-mapoval-labsko-vltavskou-vodni-cestu/>.
- [9] *Riegl: Railway Scanning in Germany*. [online]. 2011. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=OgSoDmpINRE>
- [10] *Živě.cz: Google používá k mapování měst i tříkolky*. [online]. 2011. [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/google-pouziva-k-mapovani-mest-i-trikolky/sc-4-a-147090/default.aspx>.
- [11] *Allen Instruments: Photo Survey – 3D*. [online]. [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: http://www.alleninstruments.co.za/photo_survey.htm.
- [12] *GeoInformatics: IP-S2 Compact*. [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <http://www.geoinformatics.com/blog/latest-news/ip-s2-compact-broadens-3d-mobile-mapping-applications>.
- [13] *Topconatwork: Virginia Tech – at work*. [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: http://www.topconatwork.com/TToday/TT_1008/Pages/TAW_VATech.html.

- [14] SPAR International: *Mobile Scanning and Mapping Vehicles 2012*. [online]. [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.sparpointgroup.com/SPAR-International-2012-Mobile-Demos/>.
- [15] SUKUP, Jan. Mobilní mapování: *Efektivní využití systému Komax*. Prezentace ppt
- [16] Fotografie získané při sběru dat systémem MOMAS a jejich zpracování. 2011.
- [17] NOVÁČKOVÁ, S., *Testování přesnosti mobilního mapovacího systému MOMAS*, diplomová práce, VUT v Brně, 2012.
- [18] SUKUP, J., SUKUP, K., *Možnosti využití prostředků mobilního mapování*. Družicové metody v geodézii a katastru. 2010, ISBN: 978-80-86433-46-2.
- [19] PYCKE, Tom. MAV-blog, *Kalman filtering of IMU data*. [online]. 2006 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://tom.pycke.be/mav/71/kalman-filtering-of-imu-data>.
- [20] SIMON, Dan., *Kalman Filtering. Embedded Systems Programming* [on-line] June 2010 [cit. 2011-03-22]. Dostupné z [www:http://academic.csuohio.edu/simond/courses/eec644/kalman.pdf](http://academic.csuohio.edu/simond/courses/eec644/kalman.pdf).
- [21] KLIMEŠOVÁ, K., *Pasportizace komunikací mobilním mapovacím systémem*, diplomová práce, VUT v Brně, 2011
- [22] GEODIS BRNO, spol. s r.o. *PanoramaGIS: Manuál k aplikaci*. 2011, 73 s.
- [23] Surveystation: itrademarket. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://surveystation.itrademarket.com/1422063>
- [24] WEIGEL, Josef. *Teorie chyb a vyrovnávací počet I: Základní druhy vyrovnání (1. část)*. CERM, Brno, 2004.
- [25] SEFCIK CH.,STUDNICKA N., *Documentation of complex facades and city modelling through the combination of Laserscanning and photogrammetry*. 2006. [on-line]. Dostupné z [www: http://www.riegl.com/media-events/projects/mobile-scanning/project/documentation-of-complex-facades-and-city-modelling-through-the-combination-of-laserscanning-and-pho/](http://www.riegl.com/media-events/projects/mobile-scanning/project/documentation-of-complex-facades-and-city-modelling-through-the-combination-of-laserscanning-and-pho/)
- [26] STUDNICKA N., ZACH G., AMON P., PFENNIGBAUER M., *Riegl VMX-250 with modular camera systém – combined scan and image data acquisition in mobile laser scanning*. 2011. [on-line] Dostupné z [www: http://www.riegl.com/media-events/projects/mobile-scanning/project/n-studnicka-g-zach-p-amon-m-pfennigbauer-iriegli-vmx-250-with-modular-camera-system-c/](http://www.riegl.com/media-events/projects/mobile-scanning/project/n-studnicka-g-zach-p-amon-m-pfennigbauer-iriegli-vmx-250-with-modular-camera-system-c/)
- [27] GEODIS BRNO, spol. s r.o. *Šikmé snímkování: PixoView*. [online]. Dostupné z: <http://sluzby.geodis.cz/sluzby/sikme-snimkovani-pixoview>

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

MMS	mobilní mapovací systém
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMU	Inertial measurement unit
DMT	digitální model terénu
Mpix	megapixel
GIS	geografický informační systém
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
S-JTSK	souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	výškový systém Balt po vyrovnání
PPBP	podrobné polohové bodové pole
GPS	Global Positioning System
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
CAD	Computer aided design
UAV	Unmanned aerial vehicle
DMH	Dům Milady Horákové

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Seznam souřadnic bodů určených mobilním mapovacím systémem (elektronicky)
Příloha č. 2	Protokol geodetického zaměření (elektronicky)
Příloha č. 3	Výpočty jednotlivých odchylek pro posouzení přesnosti (elektronicky)
Příloha č. 4	2D výkres fasády Domu Milady Horákové (elektronicky, tisk)
Příloha č. 5	3D dokumentace fasády Domu Milady Horákové_ArchCAD (elektronicky, tisk)